GIOVANNI SCHIAPARELLI

LE PIÙ BELLE PAGINE
DI
Astronomia Popolare

SCELTE E RIPUBBLICATE
DA
LUIGI GABBA
Astronomo del R. Osservatorio di Brera

Seconda edizione aumentata, con tavole e illustrazioni

MILANO - ULRICO HOEPLI - EDITORE

ASTRONOMIA POPOLARE

G. Schiaparelli.

GIOVANNI SCHIAPARELLI

LE PIÙ BELLE PAGINE
DI
Astronomia Popolare

SCELTE E RIPUBBLICATE
DA
LUIGI GABBA
Astronomo del R. Osservatorio di Brera

Seconda edizione, con tavole e illustrazioni

MILANO - ULRICO HOEPLI - EDITORE
1927

PREFAZIONE

Una caratteristica della mente geniale di Giovanni Schiaparelli è stata la varietà degli argomenti ai quali seppe attendere. Occupato da una molteplicità di lavori e di studi veramente sorprendente, egli è pur sempre riuscito a trovare il tempo per rendere conto al pubblico di quanto, nella disciplina da lui coltivata, poteva offrirgli speciale interesse e di informarlo così dello stato e dello sviluppo delle diverse indagini come dei risultati conseguiti e delle scoperte fatte. In tale opera di esposizione con forma elementare, senza l'aiuto di cognizioni di matematiche superiori e l'uso di termini strettamente tecnici, in tale opera insomma di volgarizzazione benintesa della scienza, egli è stato uno dei pionieri ed un maestro di abilità e di efficacia grandissime e veramente eccezionali.

Leggendo quelle prose nelle quali ha saputo rendere comprensibili anche ai non astronomi molti studi e risultati, che senza la esposizione da lui data sarebbero rimasti privilegio e godimento di pochi, si rimane ammirati tanto per la chiarezza con la quale concetti non comuni e talora non semplici hanno potuto trovare espressione quanto per la eccellenza della forma letteraria e la perfezione dello stile. Sia che lo Schiaparelli ci informi dei risultati delle sue investigazioni sulle stelle cadenti, sia che ci renda conto di apparizioni cometarie particolarmente cospicue, sia che ci riferisca i risultati delle proprie osservazioni sulle superfici planetarie, sia che ci ragguagli della precisione che è riuscito di raggiungere nelle misure terrestri e cosmiche, o sia ancora che ci riassuma le conclusioni delle sue classiche indagini sul pensiero astronomico degli antichi Elleni, la lettura dei suoi articoli, che pur rimontano ad alcuni decenni, è sempre suggestiva e proficua in sommo grado.

Si è perciò ritenuto che sarà gradito ed utile per le persone colte e per quelle che desiderano acquistare una coltura la pubblicazione della presente scelta degli scritti dettati dallo Schiaparelli nell'accennato intento di far conoscere e divulgare la scienza da lui coltivata con tanto glorioso successo. La lettura di tali scritti non mancherà di recare profitto anche se taluni di essi non rispecchiano più completamente lo stato attuale delle nostre cognizioni scientifiche ampliatesi per nuove scoperte o per più completi e più precisi risultati.

I vari articoli vengono ripubblicati quali sono usciti dalla penna del loro autore. Non li ho aggiornati nè con l'aggiunta di note che informino di recenti risultamenti, nè, in conseguenza di questi, ho modificato o completato i dati numerici, poichè ritengo che gli scritti raccolti in questo volume non abbiano il compito di fornire un prontuario di dati, ma quello piuttosto di offrire una lettura interessante ed istruttiva.

La figura di Giovanni Schiaparelli non ha bisogno di parole che la illustrino: balza viva dalle sue opere e dalle sue scoperte. Meno conosciuto è l'inizio della sua vita di studioso e per ciò ho premesso a questi suoi articoli di divulgazione astronomica le due lettere colle quali egli ha informato dei principi e dei primi progressi nello studio dell'astronomia e del metodo secondo il quale generalmente era solito lavorare: lettere le quali ci fanno ammirare sempre di più in lui la nobiltà dell'animo e la modestia dell'uomo veramente grande.

Milano, 1 giugno 1925.

LUIGI GABBA

INDICE

I.

LETTERA AUTOBIOGRAFICA

A

ONORATO ROUX

Milano, 29 aprile 1907.
Via Fatebenefratelli, 7.

Illustre Signore,

Ella vuol proprio sapere, ad ogni modo, quali sian stati per me il principio ed i primi progressi nello studio dell'Astronomia, che fu la principale occupazione ed una delle grandi gioie della mia vita. Dell'aver potuto mettermi su questa via, e dell'aver superato tutte le sue difficoltà sono debitore all'aiuto di alcuni buoni uomini da me incontrati lungo di essa. A secondare il suo cortese invito mi muove il desiderio di rendere omaggio alla loro memoria e di attestare la mia gratitudine per quanto essi hanno operato in mio favore.

Nacqui in Savigliano, addì 14 marzo 1835, da Antonino Schiaparelli e da Caterina Schiaparelli, entrambi nativi di Occhieppo Inferiore, presso Biella, cugini in terzo grado, e discendenti da un medesimo capostipite. La loro dimora era in Savigliano, dove, da parecchi secoli, i loro antenati esercitavano la professione di fornaciai di mattoni e di tegole, e, partecipando in generosa misura alle fatiche di alcuni loro operai, conducevano una dura, ma onorata esistenza. Non era però, un uomo volgare mio Padre! Gran parte delle domeniche e molte giornate dell'inverno, quando la fornace taceva, egli consacrava ad assidue letture; aveva un'alta idea dell'utilità della cultura intellet-

tuale e della nobiltà degli studi. Ricordo che da lui ebbi la prima lezione di Astronomia. In una notte serena del tardo autunno 1839, egli tornava a casa, dopo di aver regolato i fuochi della fornace; io avevo ottenuto di poterlo accompagnare in quella passeggiata notturna. L'ora era tardissima, il buio completo, ed io andavo sonnolento, incespicando ad ogni passo. Allora egli mi prese in braccio e, per tenermi desto, cominciò a spiegarmi le costellazioni. Così, da bimbo di quattro anni, imparai a conoscere le Pleiadi, il Carro piccolo, il Carro grande e la Via Lattea, ch'egli chiamava la «Strada di San Giacomo». D'un tratto si spiccò una stella cadente; poi un'altra; poi un'altra. Alla mia domanda che cosa fossero, egli rispose che queste cose le sapeva soltanto Domeneddio. Io tacqui ed un confuso sentimento di cose immense e di cose adorabili s'impadronì di me. Già allora, come più tardi, la mia immaginazione era fortemente colpita da tutto ciò che è grande, così nello spazio come nel tempo.

Il senso dell'Infinito e dell'Eterno, confusamente intravveduti dal ragazzo, nell'uomo si fortificò: anche adesso queste sono le forme sotto cui Iddio parla al mio intelletto con maggior evidenza. Inconsciamente da questo sentimento fui guidato verso l'Astronomia, la scienza dei lunghi periodi di tempo e delle immense distanze.

Per allora incominciai ad imparare a leggere; nel che mi fu maestra mia Madre; a scrivere e a far di conti m'insegnò mio Padre. Ciò fatto, nacque il dilemma: se io avessi a fare il fornaciaio «more institutoque maiorum», oppure se dovessi applicarmi agli studi. Prevalse pel momento, il secondo avviso, propugnato da mio zio materno, che era Luigi Schiaparelli, allora professore di liceo in Asti, autore più tardi di molti buoni libri elementari di storia e di geografia. Ma la fornace era là che mi aspettava, se la mia riuscita non fosse stata soddisfacente. Di ciò ben persuaso, mi proposi di far del mio meglio; ed avendo io

poi perseverato in questa risoluzione, della fornace non si parlò più.

Cambiata così la dolce e temperata disciplina domestica col regime duro, ma salutare, della ferula magistrale, mi parve di entrare in un nuovo mondo. Qui cessai di esser (o di credermi) un membro importante della comunità; non era più che uno fra molti. Oltre allo studiare, conveniva apprendere a vivere in mezzo a tipi d'ogni specie, non tutti buoni e cortesi; vi riuscii abbastanza bene. Tutto questo avvenne nello scorcio del 1841.

Un rarissimo evento venne, poco dopo, a dirigere le mie idee verso le cose del cielo. La mattina dell'8 luglio 1842, appunto nello svegliarmi, entra mia Madre nella camera come un fulmine, gridando: — Vieni a vedere l'eclisse!

Messi in fretta i calzoni, mi affacciai alla finestra; era appunto il momento della totale disparizione del disco solare. Assicuro che, per ricordarmi del fatto, non ebbi bisogno di ricevere alcuna ceffata simile a quella che Benvenuto Cellini ebbe dal padre come ricordo della salamandra. Già, nel «Secondo libro di lettura» che si usava allora nella mia scuola, io avevo letto che, talvolta, la Luna nasconde il Sole, producendo oscurità in pieno giorno. Ora io la vedevo appunto come un disco nerissimo che copriva tutto il Sole, intorno circondata da una bella aureola. Dopo di aver seguito le varie fasi nel loro decremento, volli conservar memoria dell'avvenuto, con un disegno a colori. Più si accrebbe la mia meraviglia quando mi dissero che esistevano uomini capaci di predire tali fenomeni in giorno, ora e minuto. Ebbi, allora, il desiderio di esser uno di quelli, e l'ardita ambizione di essere partecipe ai consigli che governano l'universo. Ma non sapevo neppur da qual parte volgermi e come cominciare per arrivare a questo sublime intento.

Eppure a ciò avevan già provveduto le autorità scolastiche, mettendomi fra le mani appunto quel

«Secondo libro di lettura», di cui ho parlato. Quel libro era pieno di cose nuove ed interessanti, proprie a svegliare, se non ad appagare, la curiosità di un fanciullo settenne. Ivi imparai che la Terra è una gran palla, non appoggiata su alcun sostegno; che essa non è ferma, come a noi sembra, ma gira rapidamente, come una trottola, una volta in 24 ore. Ed imparai che il mare copre tre quarti della Terra, e che la parte non coperta è divisa in due grandi isole dal mare circondate, nell'una delle quali, da lungo tempo conosciuta, io mi trovava, mentre dell'altra non si sapeva nulla avanti che la scoprisse un certo Cristoforo Colombo, genovese, 350 anni prima del mio tempo. E che il Sole e la Luna non sono ruote, ma palle; e che la palla Sole è molto più grande della palla Terra. E che la Luna è un corpo opaco, come una gran pietra rotonda, la quale, illuminata dal Sole, ora per davanti, ora a tergo, ora di fianco, appare ora tutta chiara, ora solo metà illuminata, ora in figura di falce sottile, ecc. Io mi meraviglio adesso come cose così nuove e così straordinarie, ed in parte diverse da ciò che si vede, fossero accettate senza batter palpebra. Ma tutto questo era stampato in un libro, l'aveva detto il maestro che sapeva tutto: «ipse dixit!».

Non era, però, fede cieca. In quel medesimo anno 1842 e nei tre o quattro seguenti, io feci grandi sforzi di meditazione, per giungere ad una cognizione «ragionata» di tutte queste cose. Io vedevo benissimo nel cielo gli effetti della rotazione diurna della Terra. Ma, quando mi fu insegnato che un certo Copernico ha dimostrato esser fermo il Sole e la Terra girare intorno ad esso nello spazio di un anno, e che appunto da questo fatto dipende il vedersi il Sole a mezzodì ora alto, ora basso, e la diversità delle stagioni; gravi furono per me le difficoltà. I miei libri di scuola mi aiutavan poco, e la mia mente non era ancora avvezza alle considerazioni di geometria. La luce mi venne a poco a poco, riflettendo molto su di un vecchio libro trovato in casa,

che aveva per titolo: « La Geografia ad uso dei Principi » e spiegava queste cose con una cura degna di essere imitata da molti moderni trattatisti che scrivono per le scuole. Allora, con alcuni circoli di cartone, mi fabbricai una sfera armillare ed un sistema di Copernico; ed alla fine mi riuscì di metter d'accordo i movimenti apparenti coi movimenti reali. Poi, per nulla lasciare d'oscuro e d'ambiguo, scrissi una breve esposizione del tutto, non evitando alcuna difficoltà, e la diedi a leggere ad un mio compagno, che, anch'egli, dubitava: la trovò chiara e persuasiva.

Già, prima di quel tempo, lo studio della Cosmografia mi aveva condotto alla Geografia propriamente detta. Di questa scienza ci fu posto fra le mani un libro elementare, che non esito a dichiarare perfetto nel suo genere. Chiarezza, facilità, interesse sommo; non un affastellamento di nomi e di numeri; eran notizie di cose, scelte e disposte con arte, da cui veniva fuori all'immaginazione un quadro vivo e vero d'ogni regione della Terra, e, per ciascuna regione, delle cose più notabili, più curiose e più degne d'esser sapute. Con caratteri di stampa di diversa grandezza l'anonimo autore aveva separato le cose da sapersi recitar a memoria da quelle che dovevan servire di amena ed istruttiva lettura; queste ultime eran stampate in carattere assai minuto. Così era riuscito a raccogliere in un piccolo volume una quantità incredibile di notizie, non escluso un riassunto della Geografia antica relativo ai nomi con cui i Greci e i Romani solevano designare le regioni da loro conosciute. Nella breve descrizione di Milano vidi, per la prima volta, nominato l'Osservatorio astronomico di Brera, col quale io doveva, più tardi, fare più ampia conoscenza. Tutto ciò che l'arte degli uomini e la fecondità della Natura ha prodotto sulla Terra di più importante, di più grande, di più bello o di più strano, trovava luogo in quel libro, che divenne tosto la mia lettura favorita in iscuola e fuori di scuola. Io ne

assorbii il contenuto così rapidamente e completamente come la spugna assorbe l'acqua. Il senso da me allora provato fu come del passaggio da un'angusta camera ad una bella campagna piena di fiori; come quello del viaggiatore che, per stretto ed oscuro sentiero, riesce ad un immenso e magnifico panorama. Mi procurai un compasso e cominciai, allora, l'esercizio del disegnar carte di geografia antica e moderna che poi continuai per molti anni, con sempre crescente perfezione. I miei primi saggi di quest'arte ebbero luogo l'anno 1845, nel corso ora chiamato di terza ginnasiale. Da quelli il mio maestro don Guglielmo Gandolfo (un degno prete, i cui meriti nell'insegnamento furono più tardi giustamente premiati con la croce di cavaliere) fu indotto a prestarmi l'« Atlante istorico » di Leonardo Cacciatore; opera di erudizione un po' antiquata, ma ornata di magnifiche carte. Io ne copiai molte, specialmente di geografia e storia antica; e la lettura del testo m'ispirò un grande amore per lo studio delle antichità classiche ed orientali, che ancora in me non è spento.

Poco più tardi (non ricordo bene in quale anno) venne a lavorare alla fornace di mio Padre un operaio biellese, di Occhieppo Inferiore, che aveva nome Miglietti; un uomo di molte cognizioni e di fino intelletto, che degnamente avrebbe figurato in condizione più elevata. Io scoprii, con infinito piacere, che nell'Astronomia era molto più avanti di me, e me gli attaccai subito ai fianchi. Allora si vide una cosa che non è accaduta e non accadrà così di frequente. Sull'aia dei mattoni, mentre faticosamente attendeva al suo lavoro, egli mi faceva vere lezioni di Astronomia, professore e discepolo in pieno sol di luglio e d'agosto.

Egli m'insegnò a riconoscere diversi pianeti, del cui corso apparente e delle relazioni col corso reale si rendeva perfettamente conto. M'imprestò un libro, che era la sua lettura favorita, le « Notizie astronomiche adattate all'uso comune » di Antonio Cagnoli.

Fino ad allora io avevo tratto il mio sapere astronomico da piccoli e magri sunti, quali si soglion premettere ai trattati di Geografia. Qui, per la prima volta, ebbi alle mani un vero compendio di tutta la scienza, adattato alle mie cognizioni di quel tempo. Lo studio di quel libro accompagnato dai commenti pratici del Miglietti, mi diede la prima idea completa e sistematica dell'Astronomia. V'imparai a costruire gli orologi solari e vi trovai anche un primo concetto approssimato degli effetti dell'attrazione newtoniana. Io considero il Miglietti come uno de' miei principali benefattori. Qualche anno dopo, egli si ritirò a vivere modestissimamente de' suoi sudati risparmi, divenne consigliere comunale di Occhieppo Inferiore e morì stimato da tutti quelli che lo conobbero.

Frattanto io avevo finito i miei corsi di latino; il greco, senza del quale nessun uomo può dirsi veramente colto, era escluso dalle scuole medie piemontesi di quel tempo, e dovetti studiarmelo più tardi in età assai matura. Entrato nella cosidetta « filosofia », che corrispondeva, in parte, agli attuali Licei, trovai nello studio della geometria un potente aiuto, per rendere più estese e più precise le mie nozioni astronomiche; e, quando si trattò di scegliere fra gli studi dell'Università, io non esitai un momento.

In quel tempo non v'era altra via per le Matematiche, nell'Università di Torino, che la carriera dell'Ingegnere; ebbene, per poter proseguire la linea di studi che più mi si confaceva, mi rassegnai a diventar ingegnere; e, nel novembre del 1850, fui inscritto a quel corso. Vi prevaleva il sistema d'insegnare poco e bene. Una severità draconiana negli esami allontanava presto i pigri, i deboli e gl'inetti. Di 55 che entrammo nel primo anno, uscimmo 15 dal quarto, laureati: è vero che di questi 15, tre diventarono più tardi senatori del regno, due arrivarono nell'esercito al grado di tenente generale, ed uno alla dignità di ministro del Re d'Italia. Tutti, professori e scolari,

facevano il loro dovere; e non si perdonava ad alcuno. I miei severissimi professori s'interessavano molto a me, come più tardi si vide in effetto; ma per allora non lo davan punto a vedere. Da quella scuola, per me sempre memorabile, uscii, nell'estate del 1854, con la mia laurea d'ingegnere idraulico ed architetto civile, avendo imparato certamente molte cose, ma più d'ogni altra il modo di studiare seriamente, e l'abito di far le mie cose nella miglior maniera per me possibile, con sincerità e senza finzione; sopra questo ancora: l'attaccamento al proprio dovere.

Con questi studi le mie nozioni astronomiche si andavano vieppiù consolidando; la Geometria descrittiva mi portò ad imparare a fondo la Gnomonica; la Topografia mi diede occasione a studiare l'ottica dei cannocchiali e dei microscopi, e l'arte di descrivere le proiezioni geografiche. La Meccanica razionale mi spiegò completamente il fatto dell'aberrazione della luce con cui vediamo gli astri e mi diede una visione chiara e razionale delle leggi di Keplero e del come si muovono nello spazio i corpi celesti. Studiando l'Idrostatica intesi la ragione dello schiacciamento polare del globo terrestre.

Allora feci acquisto dei due volumi dell'« Astronomia » di Santini, i quali, benchè un po' antiquati, contengono tuttavia sempre un bel fondamento per lo studio del movimento dei pianeti e delle comete. Io cessai di essere allora un « dilettante » e divenni un vero « studente » di Astronomia.

Durante il mio studio universitario ebbi la fortuna di stringere amicizia con don Paolo Dovo, parroco di Santa Maria della Pieve in Savigliano, uomo di vita semplice e pura, cortese e benefico in sommo grado, e, ciò che non guasta, studioso e dotto. Anch'egli aveva speciale predilezione per l'Astronomia, della quale discorrevamo spesso insieme, e di cui ebbi da lui in prestito alcuni libri. Ma più che i libri m'interessava un suo cannocchiale, con cui, più d'una volta, mi fece

vedere le macchie del Sole, le fasi di Venere, i satelliti e le fasce di Giove, l'anello di Saturno, alcune nebule, le Pleiadi, ecc. Per lui io costruii una grande meridiana a tempo medio sulla parete meridionale di Santa Maria della Pieve; e con l'aiuto di un falegname fabbricai un istrumento per misurare l'altezza delle stelle sul-l'orizzonte.

Quel degno uomo, un vero Socrate cristiano, soleva raccogliere intorno a sè alcuni dei giovani studenti della città, coi quali filosofava a perdita di vista, andando a spasso, come gli antichi peripatetici, oppure sedendo intorno ad una modesta refezione, degna veramente di esser comparata ai « simposii », descritti da Platone e da Senofonte. Ivi si discutevano i più alti problemi e si squadernava a fondo tutto l'universo. Fra i nostri compagni in tali esercizi ricordo Francesco Falco, che, pur allora, era tornato da Gottinga « pien di filosofia la lingua e il petto » e fu poi professore stimato di filosofia in parecchi licei, e lasciò stampate diverse dissertazioni della sua scienza. Egli era principalmente hegeliano, ma conosceva benissimo anche gli altri sistemi tedeschi, ed aveva bene studiato Herbart e Krause. Vi era un dottor Bernardi, traduttore dei « Salmi », che faceva suo studio principale delle religioni orientali, profondo nelle scienze dei Rabbini e nella Kabbala. In quel tempo era occupato nello studio degli Upanisadi indiani, ch'egli leggeva nell'antica edizione tratta da una versione persiana da Anquetil-Duperron. Si può facilmente comprendere da questo l'interesse e la varietà di quelle nostre conversazioni, che, rispetto a nobiltà di argomenti e ad originalità di opinioni, nulla lasciavano a desiderare ed acuivano l'intelletto in modo sorprendente.

Oltre al cannocchiale già menzionato, Paolo Dovo ne aveva un altro assai più piccolo, del quale mi fece dono. Non era acromatico ed amplificava solo 8 volte ma aveva lenti limpide, che mostravano assai bene le stelle fino all'ottava grandezza. Io credetti con esso di

toccare il cielo: lo attaccai ad un sostegno, vi adattai un grossolano reticolo di mia fattura; e, per misurare il tempo, fabbricai un pendolo con l'attaccare una palla di legno ad una corda, della quale faceva contare ad alta voce le oscillazioni da alcuno dei miei molti fratelli o sorelle. Con questo rozzo apparato mi riuscì di fare la carta delle piccole stelle in una zona del quadrato di Pegaso.

Questo saggio d'incipiente pratica astronomica, eseguito in sei serate dell'agosto 1856, mi cagionò una viva soddisfazione. Assai maggiore sarebbe stato il mio orgoglio, se avessi potuto sapere che, proprio verso quel tempo e col medesimo principio, ma con istrumenti più adatti, nella specola di Bonn, Argelander cominciava il suo grande «Atlante del cielo stellato boreale», ben noto a tutti gli osservatori.

Mosso dall'esempio di Francesco Falco e dalle esortazioni del mio già nominato zio materno, e persuaso, per diversi segni, che primi nell'Astronomia di quel tempo fossero i Tedeschi, volli allora procurarmi il modo di leggere le opere di Olbers, di Schröter, di Bessel, di Gauss, di Encke e degli Struve; ed intrapresi, senza alcun aiuto, lo studio grave e difficile della lingua tedesca. Ne venni a capo, impiegandovi due vacanze autunnali: otto mesi. Così io fui in grado di leggere i libri tedeschi di Astronomia; e cominciai subito con le opere popolari notissime di Maedler e di Littrow.

In tal modo io spiegavo le ali a volo sempre più ardito e più franco verso la desiderata mèta; ma ben presto venne la dura realtà a tirarmi giù verso la terra. Per darmi agio a studiare, mio Padre aveva esaurito tutti i suoi piccoli mezzi: era giusto che io cominciassi a pensare a me medesimo. Non dirò delle angoscie morali da me subite in quel tempo. Un tentativo di diventar assistente all'Osservatorio di Torino (allora occupato dal solo Plana, vecchio cadente) fu subito respinto. E lo stesso avvenne di altri tentativi analoghi

per entrare, in qualche modo, nell'Università; i posti eran tutti occupati. Io sentiva in me che non avrei potuto riuscire nè come ingegnere pratico nè come architetto, nè come uomo d'affari: caddi in una nera malinconia e cominciai a dubitare di me medesimo. Ma anche questa volta venne il liberatore, anzi la liberatrice, che fu una cometa, la vecchia cometa apparsa 300 anni prima (nel 1556). Dicesi che Carlo V, il quale appunto allora si preparava a ritirarsi nel convento di Yuste, ritenesse l'apparizione di quella cometa come un presagio della sua morte.

« His ergo indiciis me mea fata vocant! ».

Quella stessa cometa doveva pure decidere de' miei fati, ma in ben diverso senso.

Calcoli ipotetici, fondati sopra antiche osservazioni molto imperfette, avevano fatto sospettare che le tre comete apparse negli anni 975, 1264 e 1556 fossero ritorni di un medesimo astro moventesi con periodo di circa 292 anni. Dato che ciò fosse, la cometa avrebbe dovuto apparire, di nuovo, nel 1848. Simili astri di lunghissimo periodo sogliono, però, essere alquanto irregolari nei loro ritorni; ed un astronomo olandese aveva trovato che questa volta il ritorno poteva tardare di parecchi anni.

Io pensai che sarebbe stato utile ricercare la cometa col telescopio; al che era necessario sapere, per ogni epoca dell'anno, quali erano i punti del cielo in cui avrebbe potuto apparire. Con l'aiuto dell'orbita conosciuta dalla cometa del 1556 e valendomi della scienza acquistata nel libro di Santini, io tracciai su una carta celeste, per ciascun mese dell'anno, quella linea lungo la quale avrebbe dovuto trovarsi in caso ch'essa ritornasse, in quel dato mese. Costrussi, insomma, ciò che gli astronomi, con nome inglese, chiamano una « sweeping ephemeris ». Questo lavoro, corredato di tutte le opportune tavole e dichiarazioni, fu da me inviato ad uno de' miei professori di matematica, sul viso del quale mi era parso, qualche volta,

di vedere una specie di assai contenuta benevolenza per me; al senatore Carlo Ignazio Giulio, di cui, in Torino, vive ancora buona e ben meritata fama. E qui apparve chiaramente che egli e gli altri severissimi miei professori non mi avevan punto dimenticato. Associatosi con due altri, che rispondevano ai nomi egualmente illustri di Luigi Federico Menabrea e Quintino Sella, il Giulio riuscì a persuadere il Ministro della Istruzione Pubblica (Giovanni Lanza, altro venerato nome) che, per dare un buon successore all'omai ottuagenario Plana, si dovea mandare un giovane del paese ad istruirsi nell'Astronomia presso qualche celebrata scuola dell'estero, e che, avendo io di questa scienza già un buon fondamento, potevasi dare a me questa missione. Così mi salvò la cometa del 1556, della quale, a dir vero, più non s'intese parlare per quella volta.

Poco più mi rimane a dire. Nel febbraio 1857 partii per Berlino a tuffarmi nel «mare magnum» della scienza germanica, pieno di rosee speranze. Queste si sono in parte avverate, alcune non precisamente nel modo ch'io da principio intendeva; di altre non fui soddisfatto, principalmente per colpa mia di aver, forse, sperato troppo. Nondimeno, percorrendo col pensiero i 50 anni vissuti dopo quella partenza, vi trovo materia di gradite rimembranze assai più che del contrario.

Concludo la troppo lunga cicalata col dire che, in totale, io fui più fortunato di altri assai migliori di me; e che i benefizi concessimi dalla Provvidenza hanno superato di gran lunga i miei meriti.

Giovanni Schiaparelli

II.

SUL METODO
DEL
LAVORO INTELLETTUALE

Lettera al Prof. ALESSANDRO LEVI

Dalla *Rivista di Filosofia e Scienze affini* del Prof. Giovanni Marchesini, Anno IX, N. 5-6 Maggio-Giugno 1907.

Tan m'abellis vostre cortes deman
ch'ieu non me puesc nim voil a vos cobrire;

non perchè io creda di poterle offrire particolari *gustosi* o notizie insolite, ma perchè la sua lettera cortese vuole contraccambio cortese, risponderò il meglio che posso alle sue domande. Anzitutto devo notare che il mio lavoro non è mai stato tutto d'una qualità. Io lo distinguo in lavoro *attivo*, che produce qualche cosa, come osservazioni, calcoli, composizione di memorie scientifiche, corrispondenza ufficiale, correzione di bozze, relazioni, ecc.; e in lavoro *passivo*, che serve di preparazione al primo, e si risolve principalmente in lettura o studio di libri e di periodici scientifici, perchè anche in astronomia, come in tante altre cose, per poter vendere bisogna aver comprato.

Parlando poi in modo generale mi sembra, che il tempo del mio lavoro quotidiano sia stato diviso (come ancora è) in parti uguali fra queste due categorie. Ed aggiungo subito, che il lavoro attivo mi stanca assai più del passivo, e più specialmente mi stanca quello che ho sempre fatto mal volentieri, per esempio la *corrispondenza ufficiale*, la *revisione delle bozze*, la *relazione* su libri o manoscritti di poco merito. L'*osservazione astronomica* è sempre stata per me un'occu-

pazione gratissima, specialmente quando mi è avvenuto di trovare qualche cosa di nuovo. I calcoli non sono ingrati quando riescono a dovere, ma è una grande disperazione quando si trova, dopo una o più settimane di numeri, che tutto è sbagliato, e conviene ricominciar da capo. La *composizione di memorie* è faticosa per l'attenzione sostenuta che richiede, specialmente a me, cui manca il dono di dir bene improvviso; dà però molta soddisfazione, quando, anche dopo molte cancellature, si riesce ad esprimere chiaramente e in propri termini il pensiero che si ha in capo; e sopratutto quando si può annunziare qualche piccola novità.

Negli anni robusti, dal 25º al 60º, generalmente lavorava dieci ore al giorno, ripartite in tre intervalli, prima di colazione, dopo colazione, ed ore vespertine, consacrate queste ultime all'osservazione nel tempo sereno, ed alla lettura quando il tempo era cattivo. Nei giorni di osservazione non pranzava affatto, ma dormiva un poco prima di salire alla specola essendo a me necessario per osservar bene, aver il capo e gli occhi sopratutto ben riposati. A questa pratica attribuisco il successo, che ho avuto in certe osservazioni più difficili. Niente fumare, poco vino, e astensione da tutto ciò che può turbare il sistema nervoso. Le ore del mattino generalmente ho consacrato alle cose più difficili, composizione, calcoli, corrispondenza d'ufficio. Del resto non mi sono mai *astretto* a regole troppo invariabili, e talvolta l'urgenza mi ha fatto cambiare l'ordine del lavoro. Mi ricordo di esser stato una volta al tavolino sedici ore di seguito intorno ad una medesima occupazione. Ma col declinare degli anni non mi è stato più possibile continuare a quel modo. Dopo il 60º anno le osservazioni cominciarono a darmi fatica, e col 65º le ho cessate affatto; l'occhio non mi serviva più e la salute ne soffriva. Anche le ore del lavoro andarono progressivamente diminuendo dopo il 60º anno, ed ora al 72º son ridotto a quattro ore, due di

lavoro attivo e due di passivo. Al lavoro attivo di regola non posso consacrare più di un'ora di seguito.

Intervalli di riposo ho sempre avuto pochi e brevi fino al 60° anno. Sempre ho lavorato e adesso anche lavoro tutti e sette i giorni della settimana. Dopo l'anno 60° ho preso sempre le mie vacanze di tre mesi in campagna, riducendo anche d'assai il lavoro, molte volte contentandomi di semplice lettura. Lavoro ugualmente bene in campagna e in città. Ma in città tengo i libri e i mezzi di studio; riservo perciò alla campagna quei lavori che si possono fare senza libri o con pochi libri.

Il far nulla è sempre stato per me un supplizio: fino al 65° anno il mio divertimento principale fu nel far lunghe passeggiate. Più tardi queste diminuirono, ed ora quando sono in città non esco più. Il rumore della città mi fa male e le strade di Milano sono diventate per me impraticabili per questa ragione.

Il lavoro dell'astronomo consiste per lo più nel fare osservazioni, nel calcolarle, e nel riferirne il risultato. Ciò si fa d'ordinario con brevi scritti, soltanto le lunghe serie di osservazioni richiedono grossi volumi, che in tal caso sono pieni di numeri. Detto chiaramente e semplicemente quello che si è trovato, non occorrono sforzi di eloquenza nè genio letterario speciale. Quando uno ha buona salute e sa bene quello che deve dire, ha tutto l'occorrente per questo genere di composizioni. Allora tutti i giorni sono egualmente buoni, e non occorre aspettare l'ispirazione della Musa, ottimo pretesto alla pigrizia dei poeti e degli artisti.

Qualche volta nel cervello mi nasce improvvisa un'idea che pare nuova, e che si va quasi involontariamente elaborando, finchè la afferro di proposito e studiandovi sopra, ne traggo materia di qualche scritto. In questi casi cerco di sbrigarmene il più presto possibile, battendo il ferro mentre è caldo. Ciò ha il suo

vantaggio ma ha pure l'inconveniente di condurre a parti poco maturi.

Ecco quello che Le posso dire sul proposto argomento. Memoria poca, genio nessuno, molta pazienza e infinita curiosità di saper tutto. Questo è press'a poco il mio ritratto intellettuale.

GIOVANNI SCHIAPARELLI

III.

LE STELLE CADENTI

Le tre letture sopra *Le stelle cadenti*, occasionate dalla straordinaria pioggia di meteore del 27 novembre 1872, fatte al Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere nelle adunanze dei giorni 19 dicembre 1872, 9 e 23 gennaio 1873, furono pubblicate a Milano dagli editori Fratelli Treves una prima volta nel 1873 ed una seconda nel 1886. Nel 1873 apparvero tradotte in russo dal Principe Nicola di Leuchtenberg.

LETTURA PRIMA

FENOMENI PRINCIPALI DELLE STELLE CADENTI

Apparenze generali delle stelle cadenti. — Loro altezza e velocità. — Grandi piogge meteoriche. — Periodico apparire delle medesime. — Radiazione e sua causa. — Proprietà dei punti di radiazione. — Classificazione delle stelle meteoriche secondo i loro radianti. — Correnti meteoriche traversate dalla Terra nel suo corso annuale intorno al Sole.

Eccomi quest'oggi da voi, o signori, coll'intento di soddisfare alla promessa, da me data nell'antecedente adunanza dell'Istituto, di dare qualche dichiarazione sui recenti progressi che si sono fatti nello studio delle stelle cadenti. Io cercherò di far comprendere la ragione del grande interesse, che negli ultimi tempi la considerazione di questi fenomeni ha destato in tutti quelli che si occupano dei grandi avvenimenti dell'Universo, e di indicare per qual serie di singolari vicende codesti piccolissimi corpi, il cui apparire è poco meno rapido di quello del lampo, sono caduti sotto il dominio dell'Astronomia, cioè di una scienza, che a buon diritto si può chiamare la scienza dell'infinito e dell'eternità. Dirò qual'è il significato che all'ultima grande pioggia meteorica del 27 novembre passato si deve attribuire, quali previsioni essa ha confermato e quali speranze essa ha destato nei cultori di questo studio.

L'apparire delle stelle cadenti è notissimo. Una fiaccola luminosa appare subitamente in una parte

qualunque della sfera stellata, rapidamente corre serbando per lo più una costante direzione, e poi si estingue, talora scoppiando a modo di razzo, più spesso perdendo per gradi la propria luce. Nè questo è fenomeno raro. Considerando con attenzione il cielo per un'ora, quando non splende nè il sole nè la luna, chiunque goda di buona vista potrà sempre vedere alcune stelle cadenti, per lo più dodici o quindici, qualunque sia il luogo della terra, dove l'osservatore si trova. Nelle ore dopo mezzanotte sogliono esse mostrarsi anche un poco più frequentemente, che nelle ore della sera. Le linee splendenti, che talora esse lasciano dietro di sè in forma di nebbia luminosa, non sembrano per lo più legate ad alcuna norma o legge particolare; esse solcano il cielo in tutte le direzioni possibili, e talvolta corrono da una plaga dell'orizzonte alla plaga opposta. Niente si vedeva nel luogo dove la fulgida meteora è comparsa; niente è rimasto nel luogo dove cessò. Donde è venuta e dove è andata?

Nei tempi, per fortuna quasi intieramente passati, in cui si badava poco ai fatti, ed in cui con un'abile combinazione di parole si credeva di render ragione di qualsiasi più arduo problema, furono fatte eruditissime e vanissime discussioni sulla natura delle stelle cadenti. Soltanto nel 1798 due studenti di Gottinga, Brandes e Benzenberg, giunsero a comprendere, che per sapere alcuna cosa intorno ad esse era necessario prima farsi un'idea esatta del luogo dov'esse appaiono. A nessuno fino allora si era presentata l'idea, pur così semplice e naturale, di applicare alla misura della loro altezza e della loro distanza quelle medesime regole di geometria elementare, delle quali fa uso qualunque topografo per determinare la distanza di una torre o l'altezza di una montagna. Dalle loro misure, e da quelle, che dopo di loro con egual modo furono istituite, si dedusse che le stelle cadenti non sono visibili negli spazi planetari, che esse non arrivano all'altezza della luna, anzi neppure alla millesima parte di questa

altezza; le stelle cadenti si accendono nelle regioni più elevate della nostra atmosfera, ad altezze che di rado oltrepassano 100 o 120 miglia italiane, e raramente discendono più basso che 40 o 50 miglia: onde tutta la loro carriera luminosa si compie in una regione dove l'aria è estremamente rarefatta, anzi dove, secondo certe opinioni ora antiquate, non vi avrebbe dovuto più essere aria.

Con operazioni della stessa natura si giunse pure ad avere un'idea del grado di velocità, con cui esse solcano l'atmosfera: infatti quando sia conosciuta in miglia la lunghezza della linea compresa fra il punto dell'apparizione e il punto dell'estinzione, non rimane che stimare in secondi o in frazioni di minuto secondo la durata della corsa, per poter assegnare quante miglia avrebbe fatto in un secondo o in un minuto. Ora tale è la rapidità con cui tutto il fenomeno compie la sua fase, che la stima della sua durata non si è mai potuta fare con molta esattezza; tuttavia attraverso a tutte le incertezze un fatto dominante si è reso manifesto ed indubitabile: che cioè la velocità delle meteore luminose è la più grande, di cui si abbia esempio nei corpi materiali terrestri. Noi sappiamo presentemente, per mezzo della teoria, che essa varia da 16.000 a 72.000 metri per minuto secondo; e si avrà una idea della enorme rapidità con cui si muovono quelle stelle, richiamando alla mente, che il suono non percorre più di 333 metri per minuto secondo, mentre le palle d'artiglieria soltanto raramente passano i 500 o i 600 metri. Vi sono dunque meteore, che si muovono 200 volte più rapidamente che il suono, e 100 volte più rapidamente che le palle d'artiglieria.

Dalle medesime investigazioni si imparò, che le stelle cadenti *cadono* veramente, cioè piovono dall'alto al basso: non essendosi mai incontrato alcun caso ben certo, in cui una meteora sia stata vista ascendere dal basso all'alto. Ecco una notabile proprietà, la quale impedisce di supporre, come altre volte si fa-

ceva, che le stelle cadenti siano emanazioni terrestri, le quali si accendono arrivando alle regioni superiori dell'aria, là dove i nostri antichi collocavano *la sfera del fuoco*. Impariamo anzi da questo, che la materia delle meteore o viene a noi dai vacui dello spazio planetario, o almeno che dagli strati più sublimi dell'atmosfera discende più basso con subitaneo passaggio.

Considerando poi il grado di splendore, i colori, la natura talora scintillante, talora fumosa del nucleo, la striscia ora impercettibile, ora lunghissima che lasciano dietro di sè, la quale qui dura brevissimo tempo, e là dura spesso molti minuti, si venne a comprendere, come i corpi, che danno origine a queste misteriose apparenze, debbono esser di natura molto varia, e comportarsi molto diversamente nella loro rapida conflagrazione. Ciò che fu confermato anche dalla considerazione dei loro spettri luminosi. Finalmente le traietorie curvilinee, talora serpeggianti, descritte da alcune meteore, fecero con molto fondamento giudicare, che il nucleo o il substrato di tutte queste apparizioni sia un corpo solido; e che la deviazione dal corso rettilineo sia prodotta dalla resistenza dell'atmosfera, a quel modo, che colla resistenza medesima si spiegano le bizzarre deviazioni ed inflessioni delle curve, che nell'aria descrivono le palle conoidiche dell'artiglieria rigata. Fu congetturato altresì con molto plausibile concetto, che questi corpi meteorici col loro rapido muoversi nell'atmosfera resistente sviluppino il calore necessario alla loro conflagrazione, e la luce, spesso molto viva, che a noi li rende visibili anche ad altezze che superano cento miglia. Comparando questa luce con quella che danno i corpi combustibili più spesso impiegati nell'illuminazione nostra artificiale, e facendo certe supposizioni sopra il rapporto del calore sviluppato nel loro movimento, e della luce che accompagna questo calore, si pervenne altresì ad acquistare un'idea della massa delle stelle cadenti, la quale soltanto in casi comparativamente rari sembra

dover passare il peso di alcuni grammi, e per lo più si può stimare equivalente ad una frazione di gramma.

Tali sono i risultati principali, che era possibile dedurre dallo studio diretto delle stelle cadenti considerate una ad una come corpi fra loro indipendenti, e non legati da alcuna reciproca relazione. Si vede che essi non arrivano neppure a risolvere la questione, se le stelle cadenti siano d'origine cosmica, oppure se si formino subitamente nelle alte regioni sia per deflagrazione d'idrogeno, come da principio credeva il Volta, sia per concrezione istantanea di vapori terrestri e specialmente di vapori vulcanici, come con molto apparato di erudizione fu sostenuto da altri. Fortunatamente la natura medesima ha voluto guidare i passi degli investigatori verso altri risultamenti ben più importanti e ben più fecondi, offrendo alla loro considerazione fenomeni grandiosi, in cui le stelle cadenti si offrono aggruppate a sistemi, in modo da dimostrare evidenti relazioni non soltanto fra loro, ma anche con un'altra classe notissima e interessantissima di corpi celesti, cioè colle comete.

La prima cosa degna di nota, che fu osservata nell'andamento complessivo di questi fenomeni, è la frequenza eccezionale, con cui le meteore si mostrano di tempo in tempo. Nelle notti ordinarie è raro che un osservatore ben attento possa numerare in media più che 15 a 20 meteore ogni ora. Ma di quando in quando avvengono le così dette *piogge meteoriche*, durante le quali le stelle cadenti si succedono con tale frequenza da destare anche l'attenzione del volgo: e l'abbondanza è qualche volta tale, da render affatto impossibile il contarne il numero. Di tali rare occorrenze due si presentarono a nostra memoria nell'intervallo di soli sei anni; una delle quali fu addì 14 novembre 1866; l'altra del 27 novembre 1872 è fatto recente, che diede appunto occasione alla presente lettura. Nell'uno e nell'altro caso le stelle cadenti apparvero a due e tre e quattro per ogni minuto secondo, e la sera del

27 novembre 1872 vi fu tal luogo, dove quattro osservatori numerarono più di diecimila stelle in un'ora, senza contare quelle cui non si pose attenzione. Per trovare apparizioni di stelle cadenti comparabili a quelle due è necessario rimontare al 1833 e al 1799.

Grandiose piogge meteoriche si trovano ricordate nelle storie antiche e nelle cronache del medio evo. Gli annali chinesi offrono la raccolta più completa e più esatta di osservazioni di questo genere, la quale comincia coll'anno 687 prima dell'èra volgare, e si continua anche oggidì dagli astronomi della corte di Pekino. Nella grande storia della China, che Ma-tuan-lin compose nel secolo XIII sopra documenti ufficiali, i due libri 291° e 292° sono intieramente consecrati alla narrazione di piogge meteoriche, di bolidi, e di cadute di meteoriti. Essi furono tradotti e pubblicati nel 1846 da Edoardo Biot, colla continuazione fino al 1647 estratta dagli annali speciali delle dinastie Sung, Yuen e Ming. Per l'intervallo che corre dal 1647, cioè dall'elevazione della dinastia dei Manciù, fino al presente, i documenti non sono ancora accessibili, perchè nella China un uso antichissimo vieta di pubblicare gli annali di una dinastia prima che essa sia estinta o decaduta dal trono.

In confronto di questa ricchezza di fatti intieramente autentici e datati colla massima precisione, assai povera è la raccolta che ci offre l'antichità classica dell'occidente. Nelle frequenti narrazioni di prodigi che si trovano sparse per l'istoria di Livio, e nella raccolta di Giulio Obsequente, appena una volta o due si può congetturare che si tratti di pioggia di stelle cadenti, mentre non sono rare le menzioni di aeroliti. Presso i Greci le notizie di grandi piogge meteoriche non cominciano che cogli storici bizantini. Molto maggior attenzione invece prestarono a questi avvenimenti gli scrittori del medio evo, così gli Arabi, come i cristiani d'occidente; la revisione di tutte le storie e di tutte le cronache di quel tempo diede origine a

copiosi cataloghi di apparizioni meteoriche, nel qual lavoro si occuparono specialmente Chladni, Hoff, Kaemtz, Fraehn, Perrey, Herrick, Quételet, Boguslawski. L'interesse che si connetteva a queste apparizioni era grande, poichè, secondo la tradizione degli oracoli sibillini, conservata nel cristianesimo, la caduta delle stelle dal cielo doveva precedere la fine del mondo. Nell'inverno dal 762 al 763, l'anno ventesimo terzo del regno di Costantino Copronimo, imperatore greco d'Oriente, il Mar Nero si gelò quasi tutto, e il Bosforo fu intieramente occupato dai ghiacci. « Nel marzo consecutivo », dice uno storico di Bisanzio, « apparvero nel cielo cadere le stelle, e tutti quelli che le videro credettero giunta la consumazione dei secoli ». E simile riflessione si trova in un altro cronista che parla del medesimo avvenimento. La pioggia delle stelle filanti era inoltre riguardata al pari delle comete come un segno dell'ira celeste. Leggesi nella cronaca di Romualdo Salernitano: « Nell'anno 902 fu presa dai Saraceni la città di Taormina.... In quel medesimo anno furono vedute fiammelle scorrere per l'aria simili a stelle: e nella medesima notte il re dell'Africa (cioè il capitano dei Saraceni) stando ad assediare Cosenza città della Calabria, morì per giudizio di Dio ».

Le piogge di stelle filanti sogliono esser visibili sopra un vastissimo tratto di paese. Così la gran pioggia del 1866 fu osservata simultaneamente in Europa e nell'India, e al Capo di Buona Speranza: della recente pioggia del 27 novembre del 1872 abbiamo nuove da Atene e da Cristiania, da Cracovia e dall'America del Nord; ed è probabile che le osservazioni saranno state fatte anche in altri luoghi più lontani da cui fin'ora non è giunta notizia. Da ciò apprendiamo che le cause producenti questi grandi spettacoli meteorici abbracciano vastissime estensioni della Terra, sia che si vogliano porre nell'atmosfera, sia che esistano negli spazi planetari. E se vogliamo ammettere questa ul-

tima supposizione, siamo condotti a concludere, che i corpuscoli cosmici non sono tutti dispersi a caso, ma qua e là trovansi raccolti in ammassi più densi che in altre parti dello spazio celeste, e che le grandi piogge meteoriche accadono quando la Terra incontra alcuno di questi ammassi.

Comparando poi insieme le epoche in cui si manifestarono le più celebri piogge meteoriche, si acquistò un'altra nozione importante: quella della loro *periodicità:* la quale è di doppio genere. Si è trovato primieramente, che certe piogge meteoriche ritornano con maggiore o con minore intensità alla medesima data o a date poco differenti del calendario civile. Questo fatto fu dapprima messo in luce in occasione della gran pioggia meteorica del 1833. Fu allora osservato, che la sua data (12 novembre) coincideva esattamente con quella della gran pioggia meteorica osservata da Humboldt in Cumana il 12 novembre 1799: e che nel 1832, cioè un anno prima, sotto la data stessa del 12 novembre, una pioggia non così straordinaria, ma pure molto abbondante, era stata notata da vari osservatori. Ciò indusse i dotti a verificare, se nel 1834 e negli anni seguenti il 12 novembre o alcun giorno vicino a questo sarebbe stato distinto da qualche simile apparizione. Ora questo si verificò sebbene soltanto in parte: un numero di meteore assai maggiore dell'usato fu veduto intorno al 13 novembre per cinque o sei anni a partire dal 1834, ma intorno al 1840 parve estinto, almeno per quanto riguarda la frequenza eccezionale delle meteore: e non ricominciò a ravvivarsi che nel 1865, per risalire ad un nuovo maximum nel 1866, dopo del quale anno ancora venne declinando, ed ora si può dire estinto nuovamente o appena sensibile ad attenti osservatori.

Una periodicità analoga, ma più persistente, fu notata da Quételet in altre piogge meteoriche. Nel 1836 egli annunziò che la data del 10 agosto, stando ai cataloghi delle antiche osservazioni, doveva essere di-

stinta da un aumento d'intensità del fenomeno meteorico: ciò che fu indubbiamente confermato dalle numerose osservazioni fatte dal 1837 fino al presente. Le piogge del 10 agosto non hanno presentato, in questo intervallo di tempo, alcun spettacolo simile a quelli offerti dalle piogge di novembre nel 1799, nel 1833 e nel 1866; ma non è impossibile che ciò accada nell'avvenire, siccome è certo che accadde in passato; secondo le osservazioni chinesi, splendide piogge meteoriche riferibili al presente fenomeno d'agosto furono notate fin dall'anno 830 dell'èra volgare, nella quale occasione, scrive Ma-tuan-lin, « non si poterono numerare tutte le stelle che apparvero ». Al presente il fenomeno d'agosto è di intensità assai moderata, ma si ripete ogni anno con molta regolarità e costanza, sebbene non senza sensibili fluttuazioni. Oltre a queste, altre epoche dell'anno furono da Quételet e da altri designate come particolarmente ricche di meteore, come il 2 gennaio, il 20 aprile, il 20 ottobre, i primi giorni di dicembre. In tutti questi fenomeni il ritorno è legato ad un periodo annuale, il quale non è già l'anno *tropico* del calendario civile, ma l'anno *siderale*, cioè quel tempo, alquanto più lungo dell'anno tropico, che impiega la Terra a fare un giro intero nella sua orbita intorno al Sole. Onde appare chiaro, che il ritorno di questi flussi meteorici non è legato colle stagioni terrestri e colle vicende dell'atmosfera, ma corrisponde generalmente ad una determinata posizione della Terra nella sua orbita; circostanza assai più favorevole all'ipotesi che le stelle cadenti siano un fenomeno cosmico, che all'ipotesi opposta di una natura terrestre. In alcuni casi si manifesta un lento spostamento della data, non spiegabile per intiero colla piccola diversità che passa tra l'anno civile e l'anno siderale. Così la data del fenomeno periodico osservato intorno al 12-14 novembre si va *avanzando* nel calendario di circa tre giorni ogni 100 anni; mentre la data del fenomeno ultimamente osservato il 27

novembre 1872 va *retrogradando* nel calendario di una quantità non ancora esattamente definita, ma che non sarà meno di un giorno in 8 o 10 anni. La ragione di queste variazioni lente è troppo recondita per essere intesa a questi primi cenni, e nella teoria astronomica se ne rende conto con le perturbazioni, che i pianeti esercitano sulle masse meteoriche durante la loro esistenza cosmica.

Ma, come diceva poc'anzi, esiste nei ritorni delle piogge meteoriche un'altra specie di periodicità diversa dal periodo annuale. Infatti in alcuni casi si è verificato, che l'intensità dei ritorni annuali non è costante, ma varia secondo periodi regolari. Così Olbers, comparando la celebre pioggia meteorica osservata in America il 12 novembre 1833 con quella veduta da Humboldt e Bonpland in Cumana il 12 novembre 1799 e tenendo conto di un simile fenomeno che secondo Humboldt si ricordava in America come apparso nel 1766, osó congetturare il ritorno del medesimo pel 1867, il quale, come tutti sanno, si è verificato negli anni scorsi ed ebbe il suo maximum d'intensità non nel 1867, ma nel 1866. Percorrendo poi i cataloghi delle antiche apparizioni, il prof. Newton fu in grado d'additare altri ritorni del fenomeno di novembre avvenuti negli anni 902, 931, 934, 1002, 1101, 1202, 1366, 1533, 1602, 1698, i quali accennano con molta certezza ad un periodo di 33 anni ed un quarto. Così a memoria d'uomo dei ritorni delle meteore del 12-14 novembre furono già osservati 29 periodi intieri, a cominciare dall'anno 902, in cui l'apparizione seguì di pochi giorni l'eccidio di Taormina per opera dei Saraceni, ed apparve come causa o segno della morte del Capitano Saraceno sotto Cosenza, come abbiamo già detto colle parole di Romualdo Salernitano. E già si può con molta probabilità predire per il 14-15 novembre dell'anno 1899 o del 1900 il ritorno prossimo di questa notabilissima e celeberrima fra tutte le piogge meteoriche conosciute.

Similmente sembra da alcuni indizi che il fenomeno annuale del 10 agosto sia soggetto ad una recrudescenza d'intensità ogni 100 o 110 anni; ma in questo caso il ciclo non è ancora stabilito con la medesima certezza che per le meteore di novembre.

Queste due specie di periodicità, cioè quella dei ritorni annuali, e quella dell'intensità con cui si producono questi ritorni, con ragione furono annoverate tra le prove più concludenti della natura astronomica del fenomeno, e tolsero ogni probabilità all'opinione di quelli, che ancora pochi anni fa non volevano vedere nelle stelle cadenti altro che il prodotto di un'azione speciale risiedente nella nostra atmosfera. Noi riguarderemo dunque per l'avvenire come stabilito, che le stelle cadenti sono corpuscoli cosmici vaganti negli spazî planetari, i quali incontrando l'atmosfera terrestre con una grandissima velocità si accendono in essa, e dopo un periodo brevissimo di conflagrazione si disperdono in vapori od in pulviscolo impalpabile.

Ma un altro fatto non meno capitale e caratteristico accompagna le piogge meteoriche, ed è quello della *radiazione*, scoperto nel 1833 da parecchi osservatori americani in occasione del più volte accennato spettacolo del 12 novembre, e della quale il prof. Olmsted fece subito allora comprendere l'importanza. Consiste in questo: che nelle grandi piogge meteoriche la maggior parte delle traiettorie (così soglionsi chiamare le linee tracciate fra le stelle dal corso apparente delle meteore) sembra divergere da un punto unico, o meglio, da uno spazio ristretto della sfera celeste, da quello irradiando verso tutte le direzioni. Non si deve però intendere, come taluno ha fatto, che tutte le traiettorie comincino in un medesimo punto; ma soltanto questo, che prolungando idealmente le traiettorie all'indietro esse vanno ad incontrare quel punto (fig. 1). Questo punto, o questa regione a cui per tal motivo si è dato il nome di *radiante*, segue la sfera celeste nel suo movimento diurno: fatto importante,

che prova ancora esser celeste e non terrestre l'origine delle stelle cadenti. Ed invero, se la radiazione provenisse, come alcuni supposero, dall'esistenza di un centro speciale di attività meteorica collocato in una certa regione dell'atmosfera, certo è che questo centro, se fisso, dovrebbe occupare sempre la medesima direzione per rapporto all'orizzonte dell'osservatore e non potrebbe partecipare al moto diurno apparente della

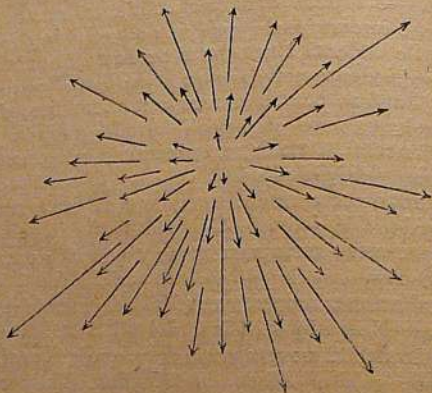



Fig. 1.

sfera celeste. Se poi il centro supposto fosse mobile e viaggiasse, come le nuvole, da una parte all'altra dell'atmosfera, il suo moto apparente dovrebbe esser simile a quello delle nuvole, il quale è generalmente irregolare e si fa per lo più prossimamente secondo linee orizzontali; onde neppure in questo caso si potrebbe spiegare la rotazione matematica di questo centro intorno all'asse della rivoluzione diurna del cielo.

Ma un altro fatto che prova, indubitabilmente, la radiazione esser fenomeno cosmico e non atmosferico, sta in questo, che diversi osservatori, collocati a di-

stanze anche grandissime sulla superficie della Terra, vedono in un dato istante la radiazione procedere dal medesimo punto del cielo, e dalle medesime stelle: il che esclude subito l'idea di un centro d'attività meteorica collocato nell'atmosfera. Così nell'ultima gran pioggia di stelle cadenti osservata il 27 novembre scorso, il punto principale della radiazione, da cui tutte le meteore sembravano derivare, stette per tutto il tempo delle osservazioni, che durò ben cinque o sei ore, in una parte del cielo vicino alla stella γ di Andromeda, partecipando al moto diurno apparente di questa: e questo riferiscono tutti gli osservatori senza eccezione, tanto quelli d'Atene, quanto quelli di Roma, di Cracovia o di America. In quella sera il radiante passò a piccola distanza dallo zenit di Milano. Se il fenomeno fosse stato prodotto da un centro speciale di attività collocato nell'atmosfera esattamente a perpendicolo sopra il nostro capo all'altezza di 100 o di 200 miglia, è manifesto che mentre da noi il centro di radiazione appariva allo zenit, l'osservatore di Atene avrebbe dovuto veder questo centro verso Nord-Ovest, e quello di Glasgow avrebbe dovuto vederlo verso Sud-Est, poichè Milano è a Nord-Ovest di Atene, e a Sud-Est di Glasgow. E siccome la distanza di queste due città da Milano è molto maggiore dell'altezza ordinaria delle stelle cadenti, segue ancora, che così in Atene come a Glasgow il centro di radiazione avrebbe dovuto apparire molto basso presso l'orizzonte dell'una e dell'altra città: cose tutte che sono lontanissime da quanto si è veduto. Tanto ad Atene quanto a Glasgow si vide il centro radiante nella medesima direzione, che prolungata fino alla sfera stellata andava a poca distanza dalla stella γ di Andromeda.

Questa identità della direzione in cui si vede il punto radiante da osservatori distanti fra loro centinaia e migliaia di miglia, è uno dei fatti più importanti nella storia delle stelle cadenti. Esso invero non si

può spiegare, che ammettendo un *completo parallelismo* in tutte le linee percorse dalle stelle componenti una medesima pioggia meteorica. Una pioggia meteorica rassomiglia in questo esattamente ad una pioggia d'acqua. Nella pioggia d'acqua, le linee percorse dalle diverse gocce, siano esse perpendicolari o inclinate dal vento, sono esattamente parallele fra loro; lo stesso dobbiamo immaginare delle piogge meteoriche, che quindi sono vere piogge di fuoco.

Per comprendere come da una simile pioggia possa derivare il fenomeno della radiazione, rammenterò un fenomeno di prospettiva, notissimo ai pittori, e che ognuno può quotidianamente per propria esperienza constatare. Allorquando uno spettatore si trova fra due o più linee parallele molto lunghe, p. e., in una strada dritta e lunga, in cui le linee delle carreggiate e dei marciapeidi e le cornici delle case sono disposte parallelamente fra loro, sembra a lui che tutte queste linee le quali in realtà non convergono mai, tendano a riunirsi in fondo alla strada convergendo verso un punto unico situato a grandissima distanza. Esse sembrano irradiare da quel punto; al quale suolsi dare il nome di centro della prospettiva. Questa è appunto l'illusione, che produce il fenomeno della radiazione delle stelle cadenti. Sia AB (fig. 2) la superficie curva della Terra, rappresentiamo con EF il limite superiore degli strati atmosferici dove le stelle cadenti si accendono, con CD il limite inferiore di quei medesimi strati. Le linee parallele comprese fra EF CD indichino una pioggia di stelle cadenti (1). Sia O il luogo dello spettatore; e $OmnS$ una linea che partendo dal suo occhio seguiti una direzione parallela alle linee della pioggia.

---

(1) Si noti che la figura rappresenta il fenomeno con regolarità geometrica, per facilità della spiegazione; chè in verità le traiettorie delle piogge meteoriche non sono nè tutte ugualmente lunghe, nè tutte cominciano alla stessa altezza, nè tutte finiscono alla stessa altezza, e la densità delle traiettorie non è per tutto uguale ma varia da un luogo all'altro.

Una traiettoria che seguiti la linea mn apparirà allo spettatore come un punto; perchè l'occhio si trova sul prolungamento della linea stessa. Quindi una tale meteora apparirà e scomparirà nel medesimo punto del cielo e non sembrerà aver alcun movimento. Un'altra traiettoria vicina alla precedente, come $m'n'$, sarà veduta dallo spettatore O sotto un grande scorcio, ed apparirà brevissima; meno brevi appariranno le traiettorie più distanti dalla mn, e quelle molto distanti, come m'' n'', appariranno lunghissime. Ma

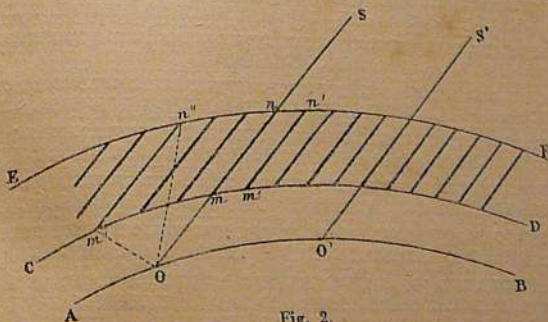



Fig. 2.

poichè tutte sono parallele, tutte sembreranno allo spettatore divergere da un centro di prospettiva comune, il quale sarà collocato nella direzione OS; e questa linea prolungata fino alla sfera celeste indicherà la stella, che segna il punto di radiazione apparente. Così da O guardando verso S l'insieme delle traiettorie offrirà lo spettacolo indicato nella fig. 1. Per un altro osservatore O', il centro della prospettiva giacerà nella direzione $O'S'$ parallela ad OS; a cagione della distanza quasi infinita della sfera stellata, le due direzioni OS $O'S'$ segneranno, prolungate, la medesima stella come centro della radiazione apparente per

ambo gli osservatori. Ecco la ragione per cui in luoghi fra loro lontanissimi il centro della radiazione apparente è assolutamente identico.

In questa costruzione si vede, che la direzione la quale segna nel cielo il punto di radiazione, è parallela alla direzione delle meteore; siccome il punto di radiazione per ogni dato spettatore non cambia sensibilmente luogo fra le stelle e partecipa al moto diurno, ne concluderemo, che la rotazione del globo terrestre non ha alcuna influenza sulla direzione in cui cade la pioggia; che perciò la *pioggia meteorica non vi partecipa, nè è influenzata da questa rotazione in modo sensibile;* come appunto deve avvenire se la pioggia meteorica è un fenomeno cosmico.

Colla scorta delle osservazioni noi siamo dunque pervenuti a stabilire, che le piogge meteoriche provengono da infiniti corpuscoli, i quali dallo spazio planetario cadono sopra la terra in direzioni parallele fra di loro. Questi sistemi di corpuscoli sono riuniti con maggior densità in certe regioni speciali dello spazio celeste, e piovono sulla Terra, quando essa nel suo corso annuale intorno al Sole attraversa la nube da essi formata. E la Terra, girando intorno al suo proprio asse col moto diurno, espone successivamente diverse parti della sua superficie alla percossa di questi corpuscoli (fig. 3) i quali vengono arrestati dall'atmosfera, e in essa disfatti e dispersi, terminando così la loro esistenza come corpi cosmici indipendenti.

Da questi fatti noi possiamo anche, considerando la figura 3, intendere come secondo le varie regioni della Terra una medesima pioggia meteorica possa cadere secondo diverse inclinazioni rispetto all'orizzonte dell'osservatore. Lo spettatore che occupa sulla Terra il luogo indicato da L riceverà la pioggia a perpendicolo sul suo capo, e le meteore penetrando, colla grandissima velocità che loro è propria, in brevissimo istante negli strati più densi e più resistenti dell'atmosfera, spariranno dopo breve corsa. Questa è una delle ragioni, per

cui la pioggia del 27 novembre scorso, la quale cadde quasi verticalmente sopra l'Europa, mostrò dappertutto traiettorie di brevissimo corso, siccome dalle osservazioni raccolte ampiamente consta. Al contrario nella regione della Terra indicata con X le meteore entrano nell'atmosfera in direzione tangente alla superficie terrestre e la loro corsa appare quasi orizzontale agli spettatori collocati in quel punto. Queste meteore penetrando in direzione estremamente obli-

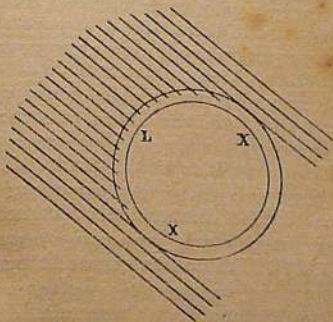



Fig. 3.

qua negli strati atmosferici superiori, che sono rarissimi e poco resistenti, potranno, prima di andar disciolte, percorrere una lunga traiettoria, ed è quello che veramente si osservò nella pioggia meteorica stupenda del 14 novembre 1866: quegli osservatori, che si trovavano ricevere le meteore in direzione quasi orizzontale, le videro arrivare sotto forma di lunghissimi razzi, che da un punto dell'orizzonte attraversando tutto l'emisfero arrivavano al punto opposto. Tali sono ancora d'ordinario le grandi meteore di lunga corsa, impropriamente appellate *bolidi*, le quali altro non sono che stelle cadenti più splendide delle altre,

e sogliono vedersi sopra tratto vastissimo di paese lasciando talora strisce luminose di considerevole ampiezza e durata. Tale fu la grande meteora che apparve a Firenze addì 11 agosto 1353: della quale scrive Matteo Villani, « che si mosse da mezzo il Cielo fuori dello Zodiaco un vapore grande, infocato, e sfavillante, il quale scorse per diritto di Levante in Ponente, lasciandosi dietro un vapore cenerognolo traendo allo stagneo, steso per tutto il corso suo. E durò nell'aria, valicato il fuoco, lungamente e poi cominciò a raccogliersi a onde a modo d'una serpe: e il capo grosso stette fermo ove il vapore si mosse, simile a capo serpentino, e il collo digradava sottile e il ventre ingrossava: e poi assottigliava digradando con ragione fino alla punta della coda, e per lunga vista si dimostrò in propria figura di serpe, e poi cominciò a invanire dalla coda e dal collo, e ultimamente il corpo e il capo vennero meno, dando di sè disusata vista a molti popoli. Altro non sapemmo di sua influenza scernere, che diminuzioni d'acque: però che quattro mesi interi stette appresso senza piovere » (VILLANI, III, 74). E di questo genere fu pure la grandissima meteora che la sera del 5 settembre 1868 fu osservata in molti luoghi di Germania, di Svizzera, dell'Italia settentrionale e della Francia; la quale osservata a Bergamo dal sig. Zezioli gli parve traversare da Levante a Ponente tutto l'emisfero visibile lasciando larga coda luminosa dietro di sè. Dalla combinazione delle fatte osservazioni si riconobbe che essa era entrata nell'atmosfera e divenuta luminosa sopra Belgrado; e che correndo quasi orizzontalmente andò ad estinguersi sopra il centro della Francia. Essa non impiegò più di 15 o 20 secondi per fare tutto quell'immenso tragitto, malgrado che il suo corso fosse rallentato dalla resistenza dell'atmosfera.

Progredendo nella nostra esposizione generale, dobbiamo ora far notare, che per i fenomeni ripetentisi periodicamente a determinate epoche, come sono

quelli del 10 agosto e del 14 novembre, il radiante è sempre lo stesso, cioè conserva fra le stelle (almeno approssimativamente) la medesima posizione in tutti i ritorni. Per tal guisa la posizione del radiante diventa per la sua stabilità, un elemento caratteristico che serve, con altri segni, a distinguere i ritorni di una medesima pioggia meteorica da quelli di altre piogge consimili. Così la pioggia celebre del 14 novembre suole irradiare ai nostri tempi dal punto dove s'intersecano le due diagonali del quadrilatero formato dalle stelle $\varepsilon\gamma\zeta\mu$ del Leone; mentre le meteore del 10 agosto si dipartono per la maggior parte da un punto collocato a poca distanza dalla stella η di Perseo, siccome fu constatato fin dal 1837 e si può verificare ogni anno. Per questo motivo si è applicato alle meteore d'agosto il nome di *Perseidi*, per brevità del discorso. Per simil ragione designeremo qualche volta col nome di *Leonidi* le stelle meteoriche appartenenti alla gran pioggia del 14 novembre, divergenti dalla testa del Leone, sebbene dai grammatici e dai professori di estetica si possa far a buon diritto qualche obbiezione sulla legittimità del nome così derivato. Con questa nozione noi siamo già in grado di dichiarare, che la gran pioggia meteorica del 27 novembre passato ha nulla che fare con quella del 14 novembre, perchè le sue meteore derivavano non già dalla testa del Leone, ma dalla stella detta γ d'Andromeda, che dal Leone è distante circa 110 gradi.

Dalla stabilità del punto radiante di una medesima pioggia meteorica si conclude subito, che tutte le volte quando la Terra incontra la nube di meteore che la produce, la direzione della caduta delle medesime è sempre la stessa.

Noi abbiamo fino al presente considerato il fenomeno delle stelle cadenti nei suoi periodi di speciale intensità, perchè appunto in queste circostanze eccezionali si manifestano con maggior evidenza i caratteri importanti di cui or ora abbiam ragionato, spe-

cialmente quello dei ritorni regolari e quello della radiazione da un determinato punto della sfera stellata. Ma poichè in qualunque notte dell'anno, purchè il cielo sia sereno e senza Luna, si possono osservare almeno alcune stelle cadenti, è nostro dovere di esaminare se per queste meteore quotidiane non esistano anche, sebbene in grado meno evidente, i suddetti caratteri. Considerandole superficialmente e senza speciale attenzione, esse non mostrano nel loro apparire regola alcuna: sembrano disperse su tutto l'emisfero visibile, e le loro direzioni paiono variare con nessun'altra norma, che quella del puro caso. E per lo più la confusione è tale, che il tentare qui un'opera di coordinamento e di classificazione sembrerebbe pura pazzia. Si credette dunque per molto tempo (e tale era ancora l'opinione quasi generale intorno al 1860) che per tali meteore non valessero le leggi osservate nelle stelle periodiche; ciò che diede origine alla distinzione di stelle *sistematiche* e di stelle *sporadiche*. *Sistematiche* chiamavansi quelle di ritorno regolare, principalmente quelle di agosto e di novembre, alle quali per lungo tempo fu quasi esclusivamente diretta l'attenzione degli osservatori; *sporadiche* quelle d'ogni notte, nelle quali non sembrava potesse indicarsi legge alcuna, che ne regolasse il ritorno o la direzione. Fu opinione di alcuni, che vi potesse essere differenza fra queste due classi, non solo circa l'epoca ed il modo del loro apparire, ma anche rispetto alla loro origine. Negli ultimi tempi fu dimostrato, che tale differenza non sussiste affatto, o almeno che essa non può ammettersi nel senso assoluto or ora indicato.

Il prof. Heis in Münster è stato il primo a tentare la classificazione di tutte le stelle cadenti in sistemi particolari e determinati, fissando per ogni epoca dell'anno un certo numero di punti di radiazione, dai quali si poteva ammettere come emanata la maggior parte delle meteore osservate. Una prima serie di punti radianti fu da lui data nel 1849; ma un catalogo

regolare di tutti i punti radianti principali che si osservano lungo l'anno non fu pubblicato che nel 1864 sopra undici anni di osservazioni. Lo stesso catalogo, corretto ed ampliato nell'ultima edizione del 1867, porta il numero dei punti radianti, o delle piogge periodiche che si osservano lungo l'anno, ad 84.

Poco dopo Heis, l'inglese Greg, avendo costruito su carte appositamente disegnate la traiettoria apparente di circa 2000 meteore consegnate nei rapporti annuali del Comitato meteorico dell'Associazione Britannica, ne dedusse le posizioni di 56 radiazioni distinte, delle quali in un catalogo più recente portò il numero a 77. Ad illustrare questo lavoro, Greg pubblicò, insieme al prof. Alessandro Herschel, uno splendido atlante nel quale sono descritte tutte le traiettorie impiegate a formare il catalogo, distribuite secondo le rispettive radiazioni a cui appartengono. Lavori analoghi, sebbene meno completi, furono pubblicati dal sig. Schmidt, direttore dell'osservatorio d'Atene, e da me coll'aiuto delle osservazioni fatte negli anni 1867-68-69 a Bergamo dal sig. Zezioli. E lo zelo, con cui gli osservatori di tutte le nazioni, ma specialmente i nostri, si sono applicati a questa parte dell'Astronomia, lascia sperare che in un avvenire non lontano le principali radiazioni meteoriche del cielo settentrionale saranno quasi completamente conosciute. Anche le radiazioni del cielo australe non sono rimaste affatto inesplorate: e 39 radiazioni di quella regione furono studiate dal prof. Heis sulle osservazioni fatte a Melbourne in Australia dal sig. Neumayer.

Esaminando e comparando insieme questi lavori, si vede che la maggior parte delle stelle meteoriche è effettivamente raccolta in sistemi, i quali non differiscono dai sistemi delle Perseidi e delle Leonidi, che per la minor copia di meteore, e per la minore evidenza, con cui si presentano agli osservatori. In ogni notte sono attive due, tre o anche un maggior numero di queste piogge meteoriche; quindi l'apparente disor-

dine dell'insieme del fenomeno, disordine che non scompare, se non quando sono classificate le traiettorie ciascuna secondo la radiazione a cui appartiene. Non è però da credere che il numero e le proprietà di questi sistemi siano già adesso sufficientemente conosciuti. I lavori poc'anzi accennati non sono che primi abbozzi, i quali, possono bensì, presi tutti insieme, offrire i tratti più generali del fenomeno e alcune delle principali circostanze: ma che dovranno esser più tardi completati da studi particolari sopra ciascuno dei sistemi meteorici.

Per tutti questi lavori è diventato certissimo, che la Terra, lungo il corso suo annuale nell'orbe descritto da essa intorno al Sole, incontra continuamente piogge meteoriche, ora più ora meno abbondanti, derivanti ora da una ora da un'altra direzione dello spazio, ma per lo più da varie direzioni in una volta. La medesima pioggia meteorica, incontrata una volta, più non ritorna che l'anno dopo, alla medesima data a un dipresso: epperò le masse di meteore formanti una medesima pioggia, presentansi ad incontrare la Terra sempre nel medesimo luogo della sua orbita e dello spazio planetario, e si precipitano sovr'essa ciascuna sempre nella medesima direzione. Che cosa sono dunque cotesti spruzzi di materia celeste, che stando fissi lungo l'orbita terrestre ciascuno al suo luogo, attendono al varco il nostro pianeta per inondarlo di vere piogge splendenti? Da qual parte vengono essi prima d'incontrare la Terra, e dove sarebbero andati se la Terra non li avesse raccolti? E le meteore che passano vicino alla Terra senza incontrarla dove vanno a finire?

Ardue questioni che tennero lungamente dubbiose le menti, e delle quali soltanto negli ultimi anni è stato possibile indicare una soddisfacente soluzione. A darne un'idea consacrerò, ove l'Istituto me lo permetta, un'altra lettura nella prossima adunanza.

LETTURA SECONDA

SUL CORSO DELLE STELLE CADENTI NELLO SPAZIO E SULLA LORO ASSOCIAZIONE COLLE COMETE

Diverse ipotesi intorno alla forma delle correnti meteoriche. — Correnti anulari avvolgentisi intorno al Sole. — Scoperta della connessione fra le stelle cadenti e le comete. — Ipotesi di Chladni e di Kirkwood. — Casi in cui si è verificata questa connessione. — Le Leonidi. — Le Perseidi. — Le meteore della cometa di Biela.— Le meteore del 20 aprile. — Diversi modi d'incontro delle correnti meteoriche colla Terra. — Numero probabile delle correnti meteoriche che percorrono lo spazio planetario.

Per dare una spiegazione di tutte le particolarità che presentano i fenomeni meteorici, furono immaginate diverse ipotesi sull'origine delle stelle cadenti e sul loro corso nello spazio. Non può esser opportuno presentare qui una storia completa di queste ipotesi dalla memorabile epoca del 1833 fino ai giorni nostri: storia che in parte è già stata fatta da altri, e che troppo mi allontanerebbe dal presente scopo. Tuttavia mi permetterò di ricordare, come fin da quell'epoca la periodicità annuale delle apparizioni meteoriche diede origine alla supposizione, che la Terra, movendosi nello spazio intorno al Sole, incontrasse, nei giorni corrispondenti, ammassi di materia celeste molto rara; e questi ammassi da alcuno si supponevano fissi in quel luogo dell'orbita terrestre, da altri si supponevano circolare intorno al Sole al modo dei pianeti. Della supposizione, che fossero fissi nel luogo dove la Terra li incontrava, si riconobbe assai presto l'inverosimi-

glianza. Oltre alla difficoltà di spiegare l'immobilità di quelle masse relativamente al sistema planetario ed al Sole, la conseguenza immediata che derivava da questa ipotesi era, che le meteore dovevano piovere tutte sulla Terra in direzione esattamente opposta al movimento di questa: e che il radiante di ciascuna pioggia meteorica doveva trovarsi nel punto del cielo, verso cui la Terra si dirigeva in quel momento in virtù del suo moto annuale intorno al Sole. Ora questa condizione non si trovò approssimativamente verificata, che per la sola pioggia meteorica del 13-14 novembre, e negli altri casi si riconobbe non adempiuta.

Più probabile sembrò l'opinione prodotta da Olmsted, che ciascun ammasso cosmico girasse intorno al Sole in una propria orbita così collocata, da intersecare l'orbita della Terra in un punto. Il ritorno simultaneo della Terra e dell'ammasso a quel punto sarebbe stata la causa della pioggia meteorica. Un simile ammasso, precipitandosi sopra la Terra, aveva prodotto, secondo Olmsted, il gran diluvio delle Leonidi nel 1833. Questa ipotesi dava conto del fenomeno della radiazione: infatti il punto radiante si poteva immaginare che segnasse sulla sfera celeste la direzione, in cui succedeva l'urto della massa cosmica contro la Terra, o piuttosto l'immersione di questa nella massa cosmica.

Ma dopo che fu constatato il periodo annuale per altre piogge meteoriche e segnatamente per quella delle Perseidi d'agosto, l'ipotesi di Olmsted perdette molto della sua verosimiglianza. Questo ritorno annuale del fenomeno indicava, che non solo la Terra, ma anche l'ammasso cosmico doveva ritornare esattamente nel medesimo punto dello spazio in capo ad un anno: onde derivava la necessità di supporre, che il periodo rivolutivo della nube meteorica fosse esso pure di un anno; o almeno che in un anno questa facesse esattamente intorno al Sole un numero intiero di rivoluzioni, senza frazioni. Supposizione anche

questa poco verosimile, la quale diventò viemmeno probabile, quando si riconobbe, che le piogge meteoriche dotate di periodo annuale sono molto numerose. Esse avrebbero domandato l'esistenza di altrettante nubi meteoriche, tutte rivolgentisi intorno al Sole, nel periodo di un anno, o in un periodo esattamente submultiplo di un anno.

Contro la esistenza permanente di coteste nubi cosmiche pugnava poi un altro invincibile argomento, desunto dalla loro enorme vastità. Per farsi un'idea delle dimensioni che occorreva loro dare per spiegare i fenomeni, basta osservare, che la Terra, la quale corre nella sua orbita mille miglia circa al minuto, rimane ogni anno due o tre giorni immersa nelle Perseidi d'agosto, la cui pioggia dura generalmente il 9, il 10 e l'11 di quel mese, anche considerando soltanto il periodo della sua maggiore intensità. E vi sono esempi di piogge meteoriche, le quali hanno una durata molto maggiore. Si comprende agevolmente da questo, che, data come causa delle stelle cadenti la presenza di nubi cosmiche rivolgentisi intorno al Sole, non si può assegnar loro dimensioni minori, che di uno o anche di più milioni di miglia. In questo grande spazio le meteore sono disseminate molto raramente, come risulta dalla loro numerazione effettiva, e si può stimare, che p. e., delle Perseidi ogni meteora visibile occupi per sè esclusivamente uno spazio uguale ad una sfera di 50 miglia italiane di raggio; che ciascuna quindi in media sia distante dalle sue vicine circa 100 miglia. Ora è facile dimostrare, che una nube composta di elementi così rari e dispersi non potrebbe star coerente in virtù della attrazione reciproca fra le sue parti; e che ben presto sotto l'influsso della gravitazione solare essa andrebbe dispersa, ciascuna sua parte descrivendo propria orbita intorno al Sole con proprio periodo.

Così respinta l'idea dell'esistenza di nubi cosmiche in forma di sistemi isolati, gli astronomi furono grado

grado condotti a supporre, che la materia meteorica, invece di essere riunita in una o parecchie masse, fosse invece distribuita su tutta l'orbita dalle meteore percorsa, in modo da formare lungh'essa un anello o armilla continua, girante intorno al Sole in forma di un fiume o di una corrente che ritorna in sè medesima. Fu trovato, che questa supposizione rende buon conto delle principali apparenze. Infatti in una simile corrente anulare le orbite speciali percorse dai singoli corpuscoli, che la compongono, sono necessariamente poco diverse fra loro: quindi in un dato luogo della corrente, i movimenti delle particelle, che in un dato istante vi passano, saranno paralleli o prossimamente paralleli fra loro, e le velocità saranno uguali, o a un dipresso uguali. Se noi ora ammettiamo, che la Terra nel suo corso annuale traversi l'anello in qualche punto, le cadute dei corpuscoli sulla sua superficie si faranno tutte anche in direzioni parallele e con velocità uguali: le linee di queste cadute saranno rese visibili dallo sviluppo di luce ed appariranno non parallele, ma divergenti da un medesimo punto del cielo, per cagione del fenomeno di prospettiva dichiarato nella lettura precedente. Ma il vantaggio principale che si consegue dalla supposizione delle correnti anulari consiste in questo: che possiamo spiegare la periodicità annuale di una stessa pioggia luminosa, senza essere in alcun modo legati a supporre, che la rivoluzione dei suoi corpuscoli intorno al Sole duri esattamente un anno, o un periodo submultiplo di un anno. Infatti, dato che l'orbita terrestre traversi la corrente in un punto, la Terra giunta in quel luogo si troverà necessariamente immersa nel flusso meteorico, e riceverà la pioggia luminosa che ne deriva. E il fatto si rinnoverà in capo ad ogni rivoluzione della Terra intorno al Sole, qualunque tempo impieghi dal canto suo la corrente delle meteore a terminare il proprio giro.

Questa idea degli anelli meteorici cominciò a farsi strada intorno al 1839, nel quale anno il prof. Erman di Berlino pubblicò una celebre memoria intorno a questo

argomento. In essa egli ricerca il modo di determinare la forma e la posizione degli anelli meteorici, e dimostra, che la determinazione del corso delle meteore in questi anelli si può fare come per qualsivoglia altro corpo del sistema planetario, non richiedendosi a questo fine, che la posizione del punto radiante fra le stelle, e la cognizione esatta della velocità, con cui le meteore cadono sopra la Terra. Ora di questi due postulati il primo è facile ad ottenersi coll'osservazione diretta, non così il secondo, cioè la velocità della caduta. Infatti questa velocità è talmente grande, la durata delle apparizioni talmente istantanea, che non si può aver campo a misura esatta, e neppure ad una estimazione sufficientemente approssimata per lo scopo. Aggiungasi a questo che la resistenza dell'atmosfera modifica rapidamente questa velocità, in pochi istanti distruggendola totalmente; e di questa resistenza non è possibile fare alcun calcolo rigoroso, mancando affatto gli elementi a ciò necessari. Per questa difficoltà è avvenuto, che la teoria astronomica di Erman, sebbene fondata sopra principi astronomici incontestabili, non portò in pratica nessun notevole progresso alla scienza delle meteore, e solo additò una via, per la quale era possibile avanzarsi a cognizioni più solide di quelle che fin allora erano state in corso. Ma vari tentativi eseguiti su questa via, specialmente dagli investigatori americani, non ebbero alcun successo. Lo stesso Erman non osò progredire in essa, e si accontentò di assegnare per l'orbita possibile delle Perseidi d'agosto alcuni limiti, assai lati invero, che dagli studi più recenti furono verificati e riconosciuti esatti. In quel tempo non era possibile procedere più oltre. Neppure fu verificata la celebre teoria di Erman sulle *offuscazioni*, secondo la quale le correnti meteoriche, frapponendosi fra il Sole e la Terra in certi punti, avrebbero dovuto arrestare per via una parte sensibile della luce e del calore di quest'astro, e produrre periodicamente certe irregolarità delle stagioni.

Erman credeva, che in questo modo le Leonidi producessero l'abbassamento di temperatura, che nei paesi settentrionali d'Europa si riconobbe avvenire intorno al 12 maggio. Oggi noi sappiamo, che la corrente delle Leonidi non può frapporsi fra la Terra e il Sole nel modo indicato, e che l'abbassamento di temperatura in discorso è un fenomeno locale, il quale non si estende al Sud delle Alpi, siccome da lunghe serie di osservazioni termometriche fatte a Milano ed a Torino è stato provato.

Per un quarto di secolo, cioè dal 1839 al 1864, la teoria astronomica delle stelle cadenti rimase fissa al concetto degli anelli di materia rara, circolanti intorno al Sole, ma non progredì niente al di là del punto, a cui l'aveva portata il prof. Erman. Non solo non si era riusciti a determinare in modo soddisfacente la grandezza, la forma, e la posizione di alcune delle supposte armille meteoriche, ma non si aveva alcuna idea precisa neppure intorno alla parte, che a coteste singolari formazioni era da assegnare nella gran macchina dell'Universo. Alcuno fra gli investigatori aveva già cominciato a disperare, che si potesse mai venire a nozioni solide intorno a questa materia, e inclinava di nuovo verso la teoria atmosferica, secondo cui le stelle cadenti si riputavano come risultato di qualche processo meteorologico analogo, p. e., alla grandine I più parevano accostarsi all'opinione già emessa da Olmsted e da Biot, che le orbite delle nubi o delle correnti meteoriche intorno al Sole fossero poco diverse da circoli concentrici, e formassero col loro insieme l'apparenza nebulosa nota sotto il nome di *luce zodiacale;* cioè costituissero un grande ammasso di forma schiacciata simile ad una lente, col centro nel Sole, e cogli orli estesi nel piano delle orbite planetarie fino a toccare l'orbita della Terra. Humboldt nel *Cosmos* è stato il divulgatore più autorevole di questo modo di vedere, il quale oggi non appartiene più che alla storia. Ad accrescere la confusione e l'incertezza

si aggiunse l'abuso che alcuni facevano della distinzione in meteore *sporadiche* ed in *sistematiche* o *periodiche*, attribuendo ad essa non un significato nominale, ma un senso reale, che non ha in natura alcun fondamento. Nessuna maraviglia quindi, che per tanto tempo molti astronomi abbiano considerato questo studio con una specie di diffidenza o di apatia, come quello da cui non erano a sperare grandi risultamenti; e che intanto godesse in Francia di un trionfo effimero la teoria meteorologica di Coulvier-Gravier, il quale per molti anni credette di ricavare, dalle osservazioni delle stelle cadenti, la spiegazione di certi fenomeni atmosferici, e perfino la predizione del tempo.

Ma quando nel 1864 il prof. Newton, consultando diligentemente le antiche narrazioni di piogge meteoriche, e rettamente interpretandole, ebbe dimostrato, che l'apparizione delle Leonidi si rinnova periodicamente ogni 33 anni ed $1/4$, ognuno vide chiaramente, che il fenomeno delle stelle cadenti poteva appartenere soltanto all'Astronomia. Bisognava dunque ad ogni costo tentare di avanzarsi, e non servendo il processo regolare dell'induzione scientifica, trovare un'altra strada, foss'anche meno rigorosa e più lunga. Invece di partire dalle osservazioni per stabilire la teoria, si è fatto ricorso alle ipotesi: e dalle conseguenze di queste, per via di deduzione si è cercato di verificare l'accordo colle osservazioni. Con questo metodo, indiretto sì, ma perfettamente rigoroso, si giunse a trovare, che le orbite descritte dalle stelle meteoriche nello spazio sono analoghe, per natura, forma e disposizione, alle orbite delle comete: che la velocità assoluta delle meteore, quando percuotono l'atmosfera della Terra, è generalmente assai prossima alla velocità che corrisponde al moto parabolico intorno al Sole, e sta alla velocità della Terra nella sua orbita nella proporzione di 141 a 100; che certe comete sono associate a certe piogge meteoriche in modo da descrivere con esse nello spazio orbite identiche; ed infine

che molto probabilmente le meteore sono il prodotto della dispersione di materia cometica. La scoperta di questi notabili fatti ha cangiato la faccia della scienza delle meteore e per la prima volta l'ha posta su vere e solide basi.

Che esista qualche relazione intima fra le comete e le meteore non è idea nuova. Fra le stelle cadenti non sono rare quelle, che lasciano nel cielo una traccia più o meno fuggitiva, la quale dà a questi corpi l'aspetto di rapidissime comete. Tale appendice non manca quasi mai alle grosse meteore, ed ai bolidi, dal cui scoppio nascono le cadute di aeroliti, onde avviene talora, che nelle antiche narrazioni tali meteore e tali aeroliti vengono descritti come comete, e confusi con esse. Questo credo fosse il punto di vista di Cardano, allorquando assimilava ad una cometa il gran bolide, del quale più centinaia di pietre caddero sul territorio di Crema il 4 settembre 1511. E senza dubbio dal medesimo argomento fu tratto Keplero a riguardare alcune stelle cadenti come piccole comete. Cotali assimilazioni non hanno per fondamento che una superficiale analogia di apparenze; essendo molto probabile, che la coda delle comete sia il risultato di un processo intieramente diverso da quello che dà origine alle code meteoriche.

Halley pensava, che una materia rara, disseminata per gli spazi celesti venisse a concentrarsi in caduta continua sul Sole, ed incontrando la Terra, producesse il fenomeno delle stelle cadenti. Maskelyne, più ardito di Halley, fece delle stelle meteoriche altrettanti corpi celesti, e pare anzi inclinasse a collocarle fra le comete. Egli scriveva quanto segue all'Ab. Cesaris, astronomo di Brera, sotto la data del 12 dicembre 1783: « Aggradite un piccolo stampato, che recentemente pubblicai, per esortare i dotti e gl'indotti ad osservare con qualche maggior cura le meteore ignee dette bolidi: *Forse risulterà che esse sono comete*. Non sdegnate di spendere alquanta fatica in questa cosa, che mi sembra di

grande momento, come quella che può condurre a progressi nella Filosofia naturale, fors'anche nella stessa Astronomia ».

Nella sua insigne opera sulle meteore ignee, Chladni ha cercato di connettere colle comete la generazione di queste meteore. Nello stabilire l'ipotesi cosmica sulla loro origine egli riguarda come possibili due casi. O le meteore sono ammassi indipendenti di materia, i quali non hanno mai fatto parte dei corpi celesti maggiori, o sono il prodotto della distruzione di un corpo celeste anteriormente esistente. Chladni ha questa seconda ipotesi come possibile, ma ritiene la prima come più probabile. Egli nota, non potersi dubitare che esistano negli spazi celesti molti corpi minori dotati di movimento, i quali talora si rendono osservabili passando davanti al Sole. Secondo Chladni, queste masse disperse sarebbero accumulazioni della materia celeste primitiva, dalla quale si sono formati anche i grandi astri dell'Universo. Molte delle nebulose, che si chiamano irresolubili, altro non sarebbero, che porzioni di detta materia sommamente rarefatta e dispersa in grandissimi spazî. Da tali nebulose pensa Chladni che le comete differiscano soltanto per la piccolezza del loro volume, per il loro isolamento, e forse anche per la maggiore loro densità. Ora le masse minori, che ci appaiono sotto forma di bolidi e di stelle cadenti, non sembrano differire essenzialmente dalle comete. « È anzi probabile, dic'egli, che le comete consistano semplicemente in nubi composte di masse vaporose ed in gran parte polverulente, le quali siano insieme trattenute dalla reciproca attrazione. Che questa attrazione non valga a perturbare sensibilmente i moti planetari, è una prova della somma dispersione e tenuità della materia di quelle nubi, attraverso alle quali spesso è avvenuto di osservare le stelle fisse ».

Queste idee così notabili di Chladni non furono mai compiutamente dimenticate in Allemagna. Si può tro-

varne l'eco in diverse pubblicazioni, come nella *Meteorologia* di Kaemtz, e nell'*Astronomia* di Littrow. Nel 1859 il barone di Reichenbach pubblicò una memoria sulle reciproche relazioni fra gli aeroliti e le comete, intieramente fondata sul punto di vista di Chladni. Egli immagina che ogni cometa sia una porzione di materia primitiva, la quale tendendo a concentrarsi secondo le leggi dell'attrazione, finisca per convertirsi in una nebbia di cristalli minuti, e sommamente numerosi. Dall'accumulamento di questi cristalli, prodotto dalla loro attrazione reciproca, suppone poi che nascano gli aeroliti, i quali secondo Reichenbach non sarebbero che una specie di conglomerati: ognuno di essi sarebbe derivato dalla condensazione di una cometa. Esaminando questa immaginosa teoria di Reichenbach, incontriamo a prima giunta ragioni assai forti di dubitare, che nel modo da lui descritto possano nascere masse così compatte e così dure, come sono per lo più quelle dei meteoriti. Ma anche quando tutte le parti di quella bizzarra speculazione non si vogliano ammettere, non è impossibile che in essa si nasconda qualche cosa di vero. La generazione dei corpi celesti dalla agglomerazione di polvere cosmica è stata recentemente appoggiata dal sig. Haidinger con tutto il peso della sua autorità. Se io mi fossi proposto di fare una storia completa, dovrei citare le opinioni di parecchi altri autori, i quali per via d'induzione più o meno arbitraria furono condotti a sospettare analogie fra le meteore luminose e le comete. Ma nessuno, per quanto è giunto a mia notizia, si è tanto avvicinato al vero, ed ha espresso opinioni tanto precise e categoriche sulla relazione di origine fra le comete e le meteore, quanto l'americano Daniele Kirkwood, professore dell'Università dello Stato d'Indiana. La sua teoria tanto si avvicina a quella, la quale oggidì generalmente è riguardata come la più probabile, che il riferirne l'esposizione può avere più che un interesse puramente storico.

« Diverse opinioni, diceva il professore americano fin dal 1861, hanno gli astronomi riguardo all'origine delle comete; alcuni credono che vengano dal di fuori del sistema solare, altri ne mettono l'origine nell'interno del medesimo sistema. La prima ipotesi è di Laplace, ed è considerata con favore da molti eminenti astronomi.... Prima dell'invenzione del telescopio l'apparizione di una cometa era cosa comparativamente rara. Il numero di quelle, che si resero visibili all'occhio nudo durante gli ultimi 360 anni, fu di 55: cioè in media di 15 per secolo. Presentemente coi telescopi se ne trovano quattro o cinque ogni anno. Siccome molte di queste sono estremamente deboli, sembra probabile, che un numero indefinito di esse, troppo piccole per essere vedute, traversino continuamente il dominio del Sole. Adottando per l'origine delle comete l'ipotesi di Laplace, noi possiamo supporre una quasi continua caduta di materia nebulare primitiva verso il centro del nostro sistema, della quale le *gocce*, penetrando l'atmosfera della Terra, producano le *meteore sporadiche*, mentre le masse maggiori formano le comete. L'influenza perturbatrice dei pianeti può avere trasformato in ellissi le orbite di molte delle prime e delle ultime. Egli è un fatto interessante, che i movimenti di varie meteore luminose (o *cometoidi*, come forse si potrebbe chiamarle) hanno indicato decisamente un'origine esterna ai limiti del sistema planetario ».

« Ma come spiegheremo (prosegue il prof. Kirkwood) in questa teoria i fenomeni delle meteore periodiche? La divisione della cometa di Biela in due parti distinte dà luogo a molte interessanti questioni sulla fisica delle comete. La natura della forza separante resta a scoprire; ma è impossibile dubitare che essa non sia nata dal potere divellente del Sole, qualunque sia stato il modo di operazione.... Molti fatti riferiti dagli storici rendono altamente probabile, se non certo, che altre divisioni di comete, oltre a quella

della cometa di Biela, abbiano avuto luogo. Or quella forza, qualunque sia, che ha prodotto una separazione, non può essa ancora dividere ulteriormente? E non potrebbe questa azione continuarsi, fino a che i frammenti siano diventati invisibili? Secondo la teoria oggi generalmente ricevuta i fenomeni periodici delle stelle cadenti sono prodotti dall'intersezione delle orbite di tali corpi nebulosi con l'orbita annuale della Terra. Ora vi è ragione di credere, che questi anelli meteorici siano molto eccentrici, e sotto questo rapporto interamente dissimili dagli anelli di vapore primitivo, che secondo la teoria nebulare furono abbandonati successivamente dall'equatore solare; in altre parole, che la materia, di cui sono composti, si muova piuttosto in orbite *cometarie*, che in orbite *planetarie*. Non potrebbero dunque le nostre meteore periodiche essere i frammenti di antiche comete ora disfatte, delle quali la materia è stata distribuita lungo la loro orbita? »

Queste speculazioni furono pubblicate nel 1861 in una rivista americana, ed è probabile che neppure oggi sarebbero giunte a notizia del pubblico astronomico europeo, se l'autore stesso non le avesse riprodotte nel 1867 nel suo *Trattato d'Astronomia meteorica.* Ma nel 1867 queste non erano più novità per i paesi di qua dall'Atlantico; invece di congetture, noi possedevamo già dimostrazioni di molte fra le idee più probabili espresse dal Kirkwood. Che che ne sia, non si può negare al professore americano il merito di essersi avvicinato alla verità tanto quanto era possibile per via di semplice divinazione.

Ora le divinazioni possono, dirigendo opportunamente le idee degli investigatori, concorrere al progresso della scienza; esse sole però non costituiscono alcun progresso. Anzi l'abuso delle medesime, ottenebrando la via alla verità che pena sempre a farsi luce, può diventare estremamente dannoso. Quante di tali divinazioni vediamo sorgere ogni giorno, che il domani

seppellisce inesorabilmente in eterno oblìo? Pur troppo il numero di coloro che usano la fantasia per istrumento principale delle ricerche scientifiche, è legione: e la confusione che ne nasce nella mente di chi vuol seguire i progressi del sapere è ancora il minore dei mali che ne conseguono. Allo studioso, assediato da ogni parte da bizzarre ipotesi e da mentite scoperte, non rimane altro che racchiudersi in un severo, talora ingiusto, sempre malgrazioso scetticismo, e non ammettere la certezza fisica, se non là dove trova, dietro proprio esame, che ad appoggio rilucono in modo incontrastabile i fatti, o per lo meno il consenso unanime degli uomini competenti.

Non sarò dunque tacciato d'ingratitudine ed ingiustizia, se dichiarerò, al prof. Newton di Newhaven doversi il merito di aver segnato in questa materia i primi passi, dubbiosi se si vuole e alquanto incerti, sopra di una nuova via, che doveva poi condurre a grandi ed inaspettati risultamenti. Egli è stato il primo nel 1865 a stabilire con molta probabilità, contro l'opinione fin allora prevalente, che le orbite delle meteore non sono prossimamente circolari come quelle dei pianeti, ma che esse si avvicinano a quelle delle comete. Una simile investigazione, fatta poco dopo da me indipendentemente dal prof. Newton, condusse ad un identico, ed anzi più categorico risultamento. Assicurato questo punto di partenza, la via ad ulteriori processi era grandemente appianata. Io non starò qui a spiegare le ragioni, dedotte principalmente dalle speculazioni cosmogoniche di Herschel e di Laplace, nè le serie di deduzioni parte esatte, parte dubbie ed appartenenti più al regno del possibile, che a quello del reale, le quali condussero a sospettare, che fra le meteore e le comete dovesse esistere qualche relazione più intima, che la semplice similitudine nella forma delle orbite. Il passo qui sopra addotto del professore Kirkwood del resto può darne un saggio. Basterà dire, che tale relazione intima sullo scorcio dell'anno 1869 e

sul principio del 1867 si manifestò chiaramente agli occhi di tutti, nella scoperta dell'associazione delle principali correnti meteoriche con altrettante comete in una medesima orbita: associazione in virtù della quale ciascuna delle suddette correnti fu trovata contenere in sè come parte integrante una cometa, e divenne certo, che ognuna di queste comete è nel suo corso accompagnata da un lungo codazzo di stelle meteoriche percorrenti un'orbita identica a quella della cometa, o poco diversa. Stabilito questo risultato, poco importa di esporre minutamente la via non

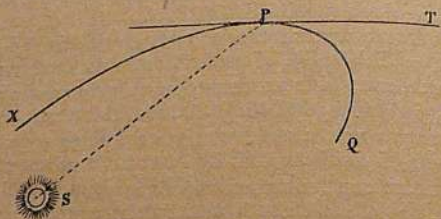



Fig. 4.

sempre diritta, per cui ci si pervenne, e meno ancora occupare la storia di queste ricerche collo spettacolo poco edificante delle debolezze umane, da cui non andò immune neppure la scoperta di questi veri.

Nello scopo di mostrare per qual semplice via oggi si possa riuscire a dimostrare la relazione delle correnti meteoriche colle comete percorrenti una medesima orbita, partirò da un lemma fondamentale e di facilissimo intendimento (fig. 4). Sia S il Sole e P un corpo qualunque slanciato nello spazio nella direzione PT con una certa velocità. Se il Sole non esercitasse alcuna attrazione sopra il corpo P, è palese, che questo continuerebbe indefinitamente la sua strada nella direzione primordiale PT. L'attrazione solare però col

suo persistente influsso devierà il cammino del corpo P, nei primi istanti di poca quantità, poi col crescer del tempo di quantità sempre maggiori in guisa che il corpo P finirà per descrivere un'orbita curvilinea, cioè una sezione conica PQ, tangente alla direzione iniziale PT. Se noi ora supponiamo che dopo del primo corpo un altro sia da quel luogo medesimo P slanciato nella direzione stessa PT con la medesima velocità, che fu impressa al primo corpo: manifestamente il secondo corpo si muoverà sotto l'azione di cause identiche a quelle che muovevano il primo, e quindi seguirà esattamente la stessa orbita PQ. Lo stesso si può dire di un terzo e di un quarto corpo, che da P sia spinto nella direzione PT con la stessa velocità che fu attribuita ai primi corpi. Tutti descriveranno l'orbita PQ. E questo esprimeremo generalmente, dicendo, che se da uno stesso punto dello spazio planetario partono più corpi animati da una medesima velocità secondo una medesima direzione, tutti questi corpi descriveranno la medesima orbita intorno al Sole. Inversamente, se dalla regione X dello spazio arriveranno più corpi in P con velocità uguale e con direzione identica, potremo concludere, che essi descrivevano intorno al Sole orbite identiche prima di arrivare in P. Infatti se dopo esser giunti in P questi corpi continuano la loro strada, essi percorreranno, per ciò che sopra fu detto, la stessa orbita PQ comune a tutti; dunque comune a tutti era anche l'arco anteriore XP della medesima orbita, essendo impossibile, che più sezioni coniche coincidano intieramente lungo l'arco PQ senza coincidere in tutto il resto del loro corso.

Applicando ora questo lemma alle stelle meteoriche noi conchiuderemo in prima, che quando più stelle meteoriche cadono sopra la Terra nella medesima direzione con uguale velocità (quando cioè formano una pioggia meteorica divergente da un medesimo radiante), questi corpi hanno percorso, prima di cadere, orbite identiche nello spazio celeste, ed hanno quindi for-

mato una corrente meteorica intorno al Sole. Quindi si giustifica la supposizione per cui si afferma, che ad ogni pioggia di stelle cadenti corrisponde una corrente meteorica nello spazio planetario.

Applicando il medesimo lemma alle comete, diremo: se l'orbita d'una cometa interseca in un punto l'orbita della Terra, e se la cometa arriva in quel punto con la medesima velocità e con la medesima direzione, con cui vi arriva una corrente meteorica, cometa e corrente saranno astrette a percorrere la medesima orbita intorno al Sole, e si troveranno associate fra loro in modo indissolubile, e vi sarà fra l'una e l'altra una relazione dipendente dal modo con cui si generano le une e le altre.

Come esempio consideriamo le Leonidi, che sogliono apparire intorno al 14 novembre di ogni anno, divergendo da un punto del cielo collocato nella testa del Leone. Questi corpuscoli formano evidentemente una corrente meteorica, i cui elementi percorrono nello spazio press'a poco la medesima orbita; e quest'orbita taglia l'orbita della Terra nel luogo dove il nostro pianeta suole trovarsi il 14 di novembre. Ora ricercando nel catalogo delle comete, si trova che esiste una cometa, cioè la cometa unica del 1866, scoperta dal signor Tempel, la cui orbita anch'essa incontra l'orbita della Terra (o passa vicinissimo all'orbita della Terra) proprio nel punto, in cui il nostro pianeta suole trovarsi il 14 di novembre. Conoscendo l'orbita della cometa è facile dimostrare, che se la Terra e la cometa arrivassero insieme al punto dove si intersecano le loro orbite, la cometa cadrebbe sulla Terra, e gli abitatori del nostro pianeta la vedrebbero con spavento arrivare appunto *dalla testa del Leone*, come farebbe una qualunque delle Leonidi! che se a queste coincidenze aggiungiamo, che il periodo della rivoluzione della cometa del 1866 intorno al Sole è esattamente uguale al periodo dei ritorni delle Leonidi, cioè a 33 anni e ¼; avremo in mano quanto basta per pronun-

ziare con geometrica certezza, che nel punto comune all'orbita terrestre, all'orbita delle Leonidi, ed all'orbita della cometa, le Leonidi e la cometa arrivano *nella medesima direzione colla medesima velocità*, che quindi le loro orbite coincidono intieramente in tutta la loro estensione; onde una relazione genetica fra la cometa del 1866 e le Leonidi diventa, se non assolutamente certa, almeno probabilissima. «Questa coincidenza, diceva su tal proposito sir J. Herschel, è tale da non lasciar alcun dubbio sulla comunanza d'origine delle meteore e delle comete».

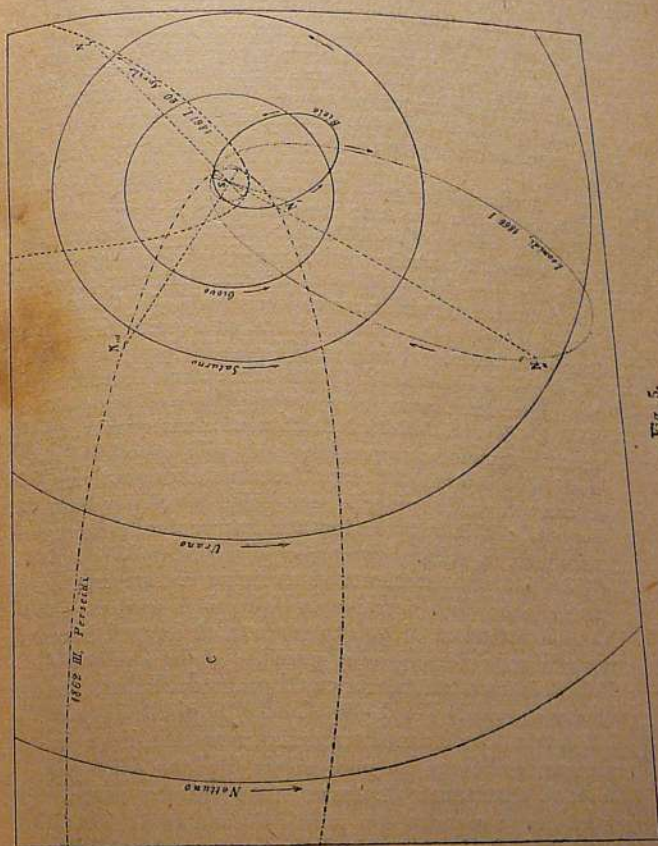
Ma un caso isolato di questa natura offrirebbe ancora alcun punto d'attacco alla critica superlativa, di cui qualche scienziato talora fa pompa quasi per compensare la credulità cieca che mostra in altre cose. Armandosi del calcolo della probabilità, potrebbe infatti costui dimandare se tale coincidenza non sarebbe forse puramente accidentale? A questa domanda, che fu veramente fatta, la Natura ha risposto nel modo più incontrastabile, offrendo nei quattro casi meglio determinati e più conosciuti di piogge meteoriche, altrettante comete recenti e ben determinate, che percorrono con quelle piogge orbite identiche nello spazio celeste. Il primo caso constatato fu la relazione da me trovata fra le Perseidi del 10 agosto e la splendida cometa del 1862: secondo venne il caso, notato da Peters, delle Leonidi di novembre e della cometa del 1866. Il terzo caso fu notato da Galle e da Weiss ed accenna ad un legame fra la prima cometa del 1861 e la pioggia meteorica del 20 aprile. Finalmente il quarto riguarda la cometa di Biela, la cui relazione con certe meteore anteriormente osservate era già stata fin dal 1867 notata da d'Arrest e da Weiss, e fu splendidamente confermata ed illustrata dalla bella pioggia meteorica del 27 novembre 1872. Oltre a questi casi, alcuni altri se ne conosce, dove la relazione fra comete e piogge meteoriche corrispondenti è meno sicura e più contestabile; onde non ne faremo parola, aspet-

tando che studi e osservazioni ulteriori abbiano a confermarli, o a dimostrarne l'insussistenza.

Nell'intento di mostrare chiaramente all'occhio la forma di queste principali orbite meteoriche e la loro posizione nel sistema solare, ho delineato la figura 5 nella quale la lunghezza di tre millimetri rappresenta il raggio medio dell'orbita della Terra intorno al Sole, ossia uno spazio di circa 80 milioni di miglia italiane. In essa, per evitare la confusione, ho disegnato soltanto le orbite dei quattro grandi pianeti superiori, Giove, Saturno, Urano e Nettuno, tralasciando tutte le altre orbite planetarie inferiori, da quelle dei piccoli pianeti in giù. Come è noto, queste orbite sono quasi circolari, sono anche quasi, ma non esattamente, concentriche; esse si trovano giacere in piani poco diversi e si può senza error grave supporre, che tutte quattro siano contenute in uno stesso piano, che è quello del foglio. Il punto *S* figura la posizione del Sole.

Le quattro curve ellittiche, delineate per maggior chiarezza con diverso modo di tratti nella figura 5 rappresentano orbite percorse dalle quattro comete poc'anzi mentovate, in compagnia delle correnti meteoriche corrispondenti. Di tali curve la più piccola è segnata con un tratto nero continuo, ed è quella percorsa dalla cometa di Biela e dalle meteore del 27 novembre 1872. Quest'orbita è percorsa nel brevissimo periodo di 6 anni e due terzi; tale è l'intervallo, in capo al quale si verificò più volte il ritorno della cometa, dal 1772, anno della sua scoperta, fino al 1852, anno in cui fu veduta per l'ultima volta. Quanto alla corrente meteorica, la sua struttura e densità è ancor troppo poco conosciuta, per poter affermare che la pioggia meteorica corrispondente abbia a rinnovarsi entro un periodo uguale a quello della cometa. Cometa e corrente però non si allontanano molto dal Sole, e soltanto di poco oltrepassano la distanza di Giove. Il piano della loro orbita non coincide esattamente col piano principale del sistema planetario, ed è inclinato

1862 III. Perseidi
Nettuno
Urano
Saturno
Giove
C
S
N
Biela
1861 I. 20 Aprile
Leonidi, 1866 I

Fig. 5.

su quello di circa 13 gradi. Quella parte dell'ellisse, che è a destra della linea retta SN_I deve immaginarsi alquanto elevata sul piano del foglio; l'altra parte deve immaginarsi d'altrettanto depressa sotto il medesimo piano. Le saette della figura, che indicano la direzione di tutti i movimenti, mostrano, che la cometa di Biela e le sue meteore girano intorno al Sole nel medesimo senso, in cui intorno al Sole si avvolgono tutti i pianeti.

Quella delle curve, che è seconda in grandezza, ed è segnata con una serie di punti rotondi, rappresenta l'orbita della cometa di Tempel del 1866, e nel medesimo tempo il cammino delle Leonidi del 14 novembre. La direzione del movimento indicata dalle due saette tracciate lungo l'orbita stessa è contraria alla direzione in cui si muove la cometa di Biela, ed a quella in cui si aggirano intorno al Sole tutti i pianeti; per questo si dice, che la cometa del 1866 e le meteore Leonidi da essa dipendenti hanno un moto *retrogrado*. Il tempo rivolutivo in quest'orbita è di 33 anni e un quarto, e a quest'intervallo corrispondono non solo successivi ritorni della cometa di Tempel, ma anche rinnovamenti d'intensità della pioggia meteorica corrispondente, come dal 902 in qua per ripetute osservazioni si è fatto manifesto. L'orbita oltrepassa d'alcun poco quella d'Urano, e presentemente si avvicina abbastanza ad essa: ciò che diede occasione ad alcuno di credere, che alle perturbazioni di questo pianeta si deva il breve periodo e la dissoluzione parziale della cometa di Tempel in corrente meteorica. Il piano dell'ellisse è inclinato su quello del foglio di soli 18 gradi: la parte della curva, che è a sinistra della linea SN_{II} deve immaginarsi sollevata un poco sopra il piano del foglio, l'altra d'altrettanto depressa sotto questo piano.

La curva segnata con punti alternamente rotondi e oblunghi, che è più ampia delle due precedenti, è l'orbita delle Perseidi del 10 agosto e della grande cometa del 1862 (Cometa 1862 III). Essa è lunga non meno di

48 raggi dell'orbita terrestre e passa al di là di Nettuno in regioni distantissime dal Sole, fuori dei limiti del mondo planetario conosciuto. Non è stato possibile delinearla per intiero nel foglio: si avrà un'idea dell'ampiezza di questa ellisse, osservando che il suo centro si trova fra le orbite di Urano e di Nettuno nel punto segnato C, e che essa si estende al di là di C altrettanto, che di qua del medesimo punto. In questa immensa ovale si aggira la grande cometa del 1862, ed impiega a fare il suo giro 121 a 122 anni, secondo il calcolo del prof. Oppolzer. La corrente meteorica sembra occupare colla sua lunghezza, se non tutta questa orbita, almeno una parte considerevole, come è attestato dalla regolarità, con cui si ripete ogni anno l'apparizione delle Perseidi. L'orbita è fortemente inclinata sul piano generale del sistema solare; l'inclinazione del suo piano su quello del foglio bisogna immaginare che sia di 66 gradi; o più chiaramente per avere un'idea esatta della sua posizione bisogna immaginare che tutta l'ovale giri intorno alla retta SN_{111} come cardine, in modo che la parte a destra della linea suddetta si elevi sopra il piano del foglio all'obliquità di 66 gradi, e il rimanente (che è la porzione di gran lunga maggiore) si abbassi sotto il piano del foglio, girando intorno a SN_{111} finchè abbia raggiunto una obliquità uguale. L'orbita delle Perseidi giace dunque quasi tutta intera *sotto* il piano generale del sistema solare.

Finalmente la curva segnata con punti oblunghi rappresenta una piccola parte della sterminata ellisse percorsa dalla I cometa del 1861 in compagnia delle meteore periodiche del 20 aprile. Questa ellisse ha una lunghezza più che doppia dell'orbita or or descritta delle Perseidi, e si spinge nello spazio alla distanza di circa 110 raggi dell'orbe terrestre; la rivoluzione non è conosciuta che prossimamente, e si crede essere di 415 anni, o alcuna cosa di simile. Nel disegno non si è potuto segnarne che un piccolo arco, perchè a descri-

verla tutta sarebbe occorso un foglio di troppo smisurate dimensioni. Il suo piano è quasi perpendicolare al piano delle orbite planetarie, onde per aver un'idea della sua vera posizione nello spazio bisogna immaginare che la parte inferiore alla linea SN_4 si abbassi sotto il foglio e l'altra parte si elevi sopra d'esso quasi perpendicolarmente, girando ambedue intorno alla linea SN_4 come cardine. La pioggia meteorica del 20 aprile presentemente non è molto splendida, ma è tuttavia discretamente regolare, come risulta dalle osservazioni degli ultimi anni; onde sembra che la corrente meteorica anche qui occupi una porzione notabile dell'ellisse se non tutta intiera l'ellisse.

Tale è la disposizione generale delle principali correnti meteoriche ora attive, di cui si riconobbe la connessione con qualche cometa. Resta ora ad indicare più esattamente la loro relazione coll'orbita terrestre, e a far vedere, quali sono le circostanze del loro incontro col nostro globo. A tal fine adopererò la fig. 6 la quale non è altro che la parte più centrale, e vicina al Sole, della figura 5, delineata in scala molto maggiore; in essa per vantaggio di chiarezza è stata omessa l'orbita delle Perseidi e quella delle meteore d'aprile, come quelle che uscendo molto dal piano generale in cui sono contenute tutte le altre, non possono essere rappresentate in modo confacente allo scopo che ora mi propongo, e domanderebbero un modello a tre dimensioni, non un disegno piano. In questa nuova figura la curva simile a un circolo rappresenta l'orbita terrestre, S il Sole. La curva ovale su cui è scritto: *Leonidi* indica quella parte dell'orbita delle Leonidi, che ha potuto capire nel foglio: la curva ovale su cui è scritto *Cometa di Biela* segna, come nell'altra figura, parte dell'orbita della cometa di Biela e delle relative meteore. Le saette indicano le direzioni dei movimenti. Tutte e tre le orbite trovandosi in piani fra loro poco inclinati, la loro disposizione vera nello spazio differirà poco da quella del disegno. Tuttavia, a cagione

della lieve inclinazione delle orbite sul piano dell'orbe terrestre, una parte di queste linee ovali sarà sotto il piano del foglio, l'altra parte sopra; e veramente, della porzione qui visibile dell'orbita delle Leonidi nel piano del foglio non vi sarà che il punto T, in cui essa incontra l'orbita della Terra: della porzione qui visibile dell'altra orbita non vi sarà nel piano del foglio altro che il punto T^1, dove essa pure incontra l'orbita della Terra.

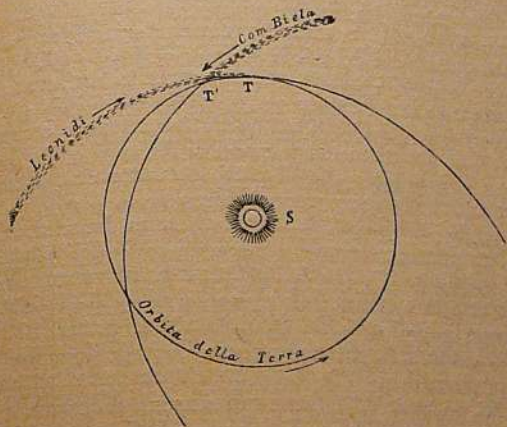



Fig. 6.

Consideriamo dapprima l'incontro della Terra colle Leonidi percorrenti la loro orbita ellittica. La Terra giunge al punto T della sua orbita intorno al 14 novembre, camminando da destra a sinistra. Le meteore di novembre invece arrivano in T percorrendo la loro ellisse da sinistra a destra: esse camminano incontro alla Terra, e l'urto succede con una velocità quasi uguale alla somma delle due velocità della Terra e delle meteore. La Terra ha in T una velocità di 29 mila metri

per minuto secondo. le meteore una velocità di 43 mila metri, l'incontro o l'urto corrisponde adunque ad una velocità di quasi 72.000 metri, e tale è la velocità con cui noi vediamo cadere le Leonidi nella nostra atmosfera. Questa è all'incirca la più grande velocità possibile nelle cadute meteoriche.

Se la corrente delle Leonidi occupasse tutta intiera l'orbita loro, e fosse dappertutto ugualmente densa, ogni anno all'arrivare della Terra in *T*, cioè intorno al 14 novembre, dovremmo subire l'urto di una splendidissima pioggia meteorica, come furono quelle del 1799, del 1833 e del 1866. Ma poichè queste splendide piogge hanno il *maximum* d'intensità in un anno determinato del periodo e tosto affievoliscono nei quattro o cinque anni seguenti, per ridursi a poco o meno che nulla nel resto del periodo di 33 anni e ¼, dobbiamo concludere: che la corrente meteorica occupa sull'orbita colla sua parte più densa un arco non molto lungo; che una parte consecutiva meno densa occupa un'altra porzione uguale a circa un sesto del totale, e che finalmente il resto dell'orbita è quasi vuoto, e che lungh'essa la corrente esiste, ma in un grado estremamente debole di densità. Quando ad intervalli di 33¼ anni passa in *T* la parte più densa, succede il *maximum* dei grandi ritorni delle Leonidi; nei cinque o sei anni seguenti passa in *T* la parte di densità mezzana, e si hanno piogge di Leonidi ancora distinte, ma non splendide: nel resto del periodo non rimangon che tracce del fenomeno, come è avvenuto quest'anno e come probabilmente avverrà nei prossimi anni fino alla fine del secolo corrente, quando verso il 1899 e il 1900 rivedremo la parte più densa. La cometa del 1866 si trova in testa a tutta la corrente, e sembra precedere la parte più densa del codazzo.

Assai diversamente si comportano la cometa di Biela e le meteore da essa dipendenti. Queste meteore arrivano nel punto T^1 dove si trova la Terra il 27-28 novembre, con una velocità di circa 40 mila metri per

minuto secondo, e vi arrivano *inseguendo* la Terra la quale corre verso T^1, nello stesso senso, ma con soli 29 mila metri di velocità. La Terra dunque fugge dall'urto, ma essendo meno veloce, è dalle meteore raggiunta, anzi a raggiungerla più presto le chiama colla propria attrazione; calcolato ogni cosa si trova che le meteore di questa corrente urtano la Terra colla sola velocità di 19 mila metri per minuto secondo, che è quasi quattro volte minore della velocità, con cui abbiam veduto cader le Leonidi. Quindi si spiega l'universale consenso, con cui tutti gli osservatori del fenomeno del 27 novembre scorso hanno dichiarato, esser stato comparativamente lento il moto apparente delle meteore cadute. Si può altresì spiegare colla piccola intensità dell'urto, la piccola luce che svilupparono quelle meteore, in comparazione collo splendido fiammeggiare delle Leonidi.

Queste due correnti possono considerarsi come due casi estremi della massima e della minima velocità con cui le stelle meteoriche possono urtare la Terra. Le Perseidi invece, e le meteore del 20 aprile non incontrano la Terra movendosi oppositamente ad essa, nè la inseguono, ma la prendono *di fianco* nel suo movimento; le velocità delle loro cadute sono anche di grado intermedio. Le Perseidi cadono colla velocità di quasi 60.000 metri per secondo, le meteore del 20 aprile con quasi 51.000 metri.

Questi casi bene conosciuti e studiati di correnti meteoriche possono darci un'idea di quello che sarà per le altre. Stando all'ultimo catalogo pubblicato dal sig. Greg, si osserva lungo l'anno la ripetizione periodica di 132 radiazioni distinte. Nè questo è certamente un numero uguale al vero: perchè le osservazioni su cui quel catalogo è fondato non sono complete, e di più abbracciano soltanto le radiazioni osservate nell'emisfero boreale della Terra. Stando a quella proporzione, le radiazioni principali visibili in tutto il cielo dovrebbero essere almeno 200. E sebbene io abbia ra-

gione di credere, che anche questo numero sia grandemente inferiore alla verità: pure staremo con esso, e ne conchiuderemo, che la Terra incontra lungo il suo corso annuale almeno 200 correnti meteoriche diverse, descriventi ciascuna con moto periodico la sua orbita intorno al Sole; orbita fortemente ellittica come quella delle comete periodiche. Queste correnti, assai meno popolate di meteore che le quattro più specialmente descritte qui sopra, non sono neppur esse composte di materia continua, ma contengono minutissimi corpuscoli separati da grandi intervalli, e sono talmente rare, che due o tre o più possono urtare insieme la Terra, e attraversare nel medesimo tempo il medesimo spazio senza offendersi a vicenda: producendo così, nelle notti ordinarie dell'anno, quella confusione di piogge meteoriche, che aveva da principio condotto all'idea delle meteore sporadiche.

Ma il numero delle correnti meteoriche, che attraversano gli spazi planetari, apparirà ben ancora più grande, quando si noti, che le 200 correnti sopradette sono legate alla condizione di attraversare in qualche punto il cammino descritto annualmente dalla Terra intorno al Sole; condizione, senza della quale elle non potrebbero incontrare il nostro pianeta e rendersi a noi visibili. Or quale sarà la moltitudine delle correnti meteoriche, le quali, non incontrando l'orbita della Terra, rimarranno in eterno a noi incognite ed inesplorabili? Senza dubbio bisognerà calcolarle per molte e molte migliaia. Così noi vediamo, che lo spazio compreso fra le orbite dei pianeti, e gli altri spazi che stanno dalle due parti del gran piano fondamentale del sistema planetario, non sono già vuoti, o appena raramente visitati da qualche cometa: essi contengono un numero immenso di corpuscoli minuti, raccolti in correnti, e aggirantisi intorno al Sole in orbite allungate. Sebbene a ciascuno di questi corpuscoli non si possa attribuire che una massa piccolissima, pure la loro moltitudine è così sterminata, e lo

spazio da essi riempito è talmente grande, che la loro totalità può forse formare una massa non affatto trascurabile nel computo dei movimenti planetari. L'esperienza futura potrà anche decidere questo punto.

Così il concetto dell'Universo si viene allontanando sempre più dall'ideale geometrico così caro alle nostre menti, e sempre più si viene complicando di particolarità fisiche accidentali, di cui è impossibile tener conto esatto col calcolo. Nè poteva essere altrimenti. Checchè infatti sia stato disputato in proposito, sarà sempre vero, che l'Astronomia non è una scienza matematica, come volevano gli antichi e alcuni moderni ancora vogliono; ma una scienza naturale, la quale come scienza naturale vuole essere trattata. L'indole semplice dei suoi problemi la rende più accessibile al calcolo, che le altre scienze naturali, e per questo è avvenuto, che l'analisi e la geometria hanno riportato nel suo campo così luminosi ed insperati trionfi. Ma l'analisi e la geometria qui sono mezzi di studio, non essenza del sapere astronomico: aiuti utilissimi anzi indispensabili, non completa ed unica misura dei fenomeni.

LETTURA TERZA

CONGETTURE PROBABILI SULLA ORIGINE DELLE STELLE CADENTI

Idea generale del modo, con cui le comete si suppongono generare correnti meteoriche. — Come dal dissolversi totale o parziale di una cometa si possa generare una tale corrente. — Divisione delle comete; fenomeni della cometa di Biela. — Altri casi di divisione delle comete. — Struttura granulare di molti nuclei cometari. — Forze che producono la separazione delle loro parti. — Come l'attrazione solare si possa convertire in forza dissolvente. — Alcune quistioni sulla dissoluzione e sulla distruzione delle comete.

Tre gradi formano il corso completo, in cui si muove il processo induttivo della nostra intelligenza nello studio della natura. Il primo grado è quello dell'osservazione e della classificazione; il secondo comprende lo studio formale delle leggi, a cui si possono ridurre le cose osservate; nel terzo si risale alle cause, da cui provengono le dette leggi, o per lo meno si riducono queste leggi ad altre più generali e di ordine superiore. Nello studio delle stelle cadenti noi abbiamo seguito appunto questa strada. E così, dopo avere nella prima lettura esposto in generale i principali fenomeni delle stelle meteoriche, nella seconda siamo pervenuti a definire la norma della loro distribuzione e dei loro movimenti nello spazio. Non rimane dunque, che ascendere il terzo grado, e determinare, se è possibile, per qual serie d'eventi abbiano potuto formarsi e trovarsi associate alle comete quelle singolari agglomerazioni di corpuscoli, che si muovono intorno al Sole

in forma di correnti o di armille meteoriche. In quest'ultimo stadio non è più possibile di raggiungere il medesimo grado di certezza, che nei primi due. Nè ciò dee far meraviglia. Poichè il primo dei tre gradi, cioè l'osservazione dei fenomeni, non dipende che dalla constatazione immediata di fatti, e gode di tutto quel grado di fede, che si può raggiungere coi nostri sensi. La determinazione delle leggi dipende nel presente caso da ragionamento geometrico, e conduce quindi a risultati di certezza non minore, che quella delle osservazioni. Ma il risalire alle cause domanda nell'attuale problema la cognizione esatta di certe parti della fisica celeste, che al presente sono ancora poco esplorate. Le idee adunque, che verrò esponendo, malgrado l'assentimento sempre più generale che vanno acquistando, e malgrado la conferma, che sembrano ricevere da recenti osservazioni, possono essere presentate come speculazioni probabili, anzi, oserò dire, come speculazioni molto probabili; ma non raggiungono la completa certitudine fisica.

La tesi, a cui un esame diligente di tutti i fatti conosciuti ha condotto gl'investigatori, è la seguente: *Le correnti meteoriche sono il prodotto della dissoluzione delle comete, e constano di minutissime particelle che certe comete hanno abbandonato lungo la loro orbita in causa della forza disgregante, che il Sole od i pianeti esercitano sulla materia rarissima, di cui sono composte.*

Notissima è la costruzione generale delle comete. In esse vi ha sempre una parte più densa, spesso tanto densa e brillante, da meritare il nome, che le fu dato, di *nucleo* della cometa. Questa parte è il vero centro di tutte le svariate apparizioni ed appendici, che offrono le comete: essa è quella che percorre intorno al Sole un'orbita regolare, seguendo le leggi di Keplero. Tutto il rimanente, che circonda il nucleo, atmosfera, chioma, e coda, presenta spesso, sotto l'influsso del calore solare, i più curiosi spettacoli che possono vantare gli annali del cielo; ma la massa di queste appendici, e la

loro densità è quasi nulla in confronto di quella del nucleo o della parte più centrale della testa. Ora la disgregazione, dal cui effetto diciamo derivare le correnti meteoriche, deve intendersi così, che alcune porzioni della materia della cometa vengono a poco a poco allontanate dal centro principale dell'astro, e sottratte alla sua influenza attrattiva. Queste porzioni, interamente libere dal dominio del nucleo, cominciano a percorrere accanto ad esso un'orbita pro-

Fig. 7.

pria intorno al Sole, come astri indipendenti; e la probabilità di esser ricondotte sotto l'azione del nucleo essendo per esse piccolissima, finiscono per separarsene definitivamente, allontanandosi vieppiù da quello.

Perchè si comprenda, come dallo sciogliersi del legame che collega la materia cometica al suo nucleo nascano le correnti meteoriche appunto nella forma che ho descritto nella lettura II, consideriamo in S (fig. 7) il Sole, in C il nucleo di una cometa, in H una particella di materia cometica, che in seguito a cause

da descriversi più tardi, si sia disgregata dal nucleo, e si sia ora portata poco a poco fuori dell'azione di quello, in modo da descrivere un'orbita propria e indipendente intorno al Sole. La distanza *CH* è, nel momento della separazione, assai piccola in confronto della distanza *SC*; e come i due corpi *C* ed *H* quando erano riuniti correvano colla stessa velocità intorno al Sole, ora anche dopo la separazione si muoveranno con velocità uguali o almeno pochissimo differenti. I due corpi adunque percorreranno nello spazio orbite poco diverse, e se queste orbite sono ellittiche, il tempo del loro giro intorno al Sole sarà quasi uguale per l'uno e per l'altro. Tuttavia non ne seguirà, che essi debbano sempre accompagnarsi nel loro viaggio celeste a piccola distanza l'un dall'altro. Se infatti per esempio supponiamo, che la rivoluzione di *H* nella sua orbita sia di una centesima parte più breve che quella di *C*, è manifesto che, ad ogni giro intorno al Sole, *H* anticiperà sulla posizione di *C* di un centesimo del giro stesso, e dopo dieci giri *H* avrà avanzato di 10 centesimi di giro, e dopo cinquanta giri *H* avrà avanzato di 50 centesimi, o di mezza rivoluzione. Coll'andar del tempo dunque *H* potrà occupare rispetto a *C* nella sua orbita tutte le configurazioni possibili. In un solo caso questo non succederà: cioè quando la rivoluzione di *H* intorno al Sole si faccia in un tempo matematicamente uguale alla rivoluzione di *C*. Ma questo è infinitamente poco probabile che avvenga; e dato che avvenisse, non potrebbe durare; le perturbazioni planetarie, esercitandosi sui due corpi con diversa intensità, tosto produrrebbero quella differenza di tempi rivolutivi, che prima non esisteva.

Un esempio illustre di questi avvenimenti, che ora ho descritto, è stato osservato sulla cometa di Biela nel 1845. Questa cometa, di cui già ho avuto occasione di descrivere il corso nella lettura precedente, è una fra quelle di breve periodo, ed è stata osservata già più volte nei suoi ritorni. Scoperta da Montagne nel 1772,

poi da Pons nel 1805, fu ritrovata e riconosciuta come periodica da Biela e da Gambart nel 1826, e dal nome di questi scopritori suole chiamarsi talora cometa di Gambart, altre volte e più spesso, cometa di Biela. Il calcolo del suo corso fu oggetto principalmente dei lavori del Prof. Santini e del Prof. Hubbard. Questa cometa, come tutte quelle che generano correnti meteoriche a noi visibili, ha la proprietà, che la sua orbita interseca l'orbita della Terra, o passa a questa assai da presso. Come tutte le comete, essa si fa visibile a noi soltanto nella parte inferiore della sua orbita, cioè in quell'arco, che è più vicino al Sole. Dopo il 1826 essa ritornò nel 1832, nel 1839, nel 1845 e nel 1852. Nella apparizione del 1832 il suo aspetto non offrì nulla di straordinario: una piccola nebulosità senza coda. Nel 1839 non fu veduta, trovandosi, al tempo della visibilità, in una configurazione sfavorevole rispetto alla Terra ed al Sole: ma grande fu la meraviglia, quando al suo ritorno seguente, sullo scorcio dell'anno 1845, si scoperse che la cometa era divenuta doppia! Non si è potuto determinare con certezza l'epoca di questa divisione. Hubbard inferisce dai suoi calcoli, che questo fenomeno ha dovuto succedere nel novembre del 1844, cioè circa un anno prima che la cometa si rendesse visibile, nell'apparizione del 1845, agli osservatori: (essa fu veduta per la prima volta a Roma il 26 novembre 1845). La duplicità della cometa del resto da principio rimase inavvertita, forse a cagione delle grandi fluttuazioni di luce che rendevano meno visibile or l'uno or l'altro dei due capi: così che sebbene Herrick e Bradley a Newhaven già constatassero quella duplicità fin dal giorno 29 dicembre 1845, le osservazioni regolari delle apparenze fisiche dei due capi non cominciarono che col 13 gennaio 1846 per opera di Maury all'osservatorio di Washington, e in Europa più tardi ancora, cioè il 15 gennaio all'osservatorio di Königsberg. Secondo i calcoli di Hubbard la distanza fra le due parti

il giorno 10 febbraio 1846 quando la cometa si trovò nella massima vicinanza al Sole, fu di 160 miglia italiane; esse si seguivano descrivendo orbite quasi assolutamente identiche intorno al Sole e la seconda parte correva dietro alla prima ad un intervallo di *due* ore: vale a dire, che la seconda cometa occupava quasi esattamente ad ogni momento la posizione, in cui l'altra si era trovata due ore prima.

Nell'apparizione consecutiva la cometa fu riconosciuta per la prima volta dal R. P. Secchi nel grande rifrattore di Roma il 25 agosto 1852; ma per allora ne fu visto un solo capo: l'altro non fu trovato che il 16 settembre consecutivo ad una distanza dal primo molto maggiore di quello che s'aspettava. Anche questa volta si notarono fluttuazioni di splendore, che rendevano quasi invisibile or l'una or l'altra cometa. Il 23 settembre 1852 i due capi passarono nel punto della loro maggior vicinanza al Sole, e la loro distanza reciproca in quel giorno si trovò essere di 1330 mila miglia italiane, cioè *otto* volte più grande della distanza osservata nel 1846; la seconda cometa era in ritardo sulla prima già di 16 ore. A tale distanza, che è quasi sette volte l'intervallo dalla Terra alla Luna, i due capi non potevano più esercitare l'uno sull'altro un'azione attrattiva molto sensibile, ed erano diventati in fatto due astri intieramente indipendenti l'uno dall'altro. Anche i calcoli dell'accennato professore Hubbard hanno dimostrato, che dalle osservazioni del 1846 e del 1852 non è possibile ricavare alcuno anche dubbioso indizio di una azione qualunque attrattiva o repulsiva fra i due capi; il corso di ciascuno potendo accuratamente rappresentarsi colle leggi di Keplero e colle perturbazioni planetarie senza introdurre alcuna nuova forza. Finalmente è dimostrato, che l'uno dei due capi compie il suo giro intorno al Sole in un tempo alquanto più breve che l'altro; la differenza è, secondo Hubbard, di 18 ore e 5 minuti, ciò che sopra una durata del tempo rivolutivo di 6

anni e 223 giorni fa 1:3200 della durata stessa. Quando dunque il più lento dei due capi avrà fatto 3200 rivoluzioni, il più rapido ne avrà fatte 3201; ed in tale intervallo avranno preso nelle loro orbite tutte le configurazioni possibili l'uno rispetto all'altro.

Un altro esempio bene constatato di cometa doppia si ha nella prima cometa del 1860, la quale percorse le costellazioni antartiche del cielo e non fu visibile in Europa. Essa fu scoperta nella città di Olinda (Brasile) dal signor Liais il 27 febbraio 1860. I due capi erano molto disuguali di grandezza e di splendore; la loro distanza apparente, che era molto piccola (circa un minuto di grado) lascia congetturare, che la separazione fosse avvenuta poco tempo prima, e forse in quell'apparizione medesima della cometa. Singolarissima poi fu la presenza di due nuclei nella maggiore delle due comete; questo fatto sembra indicare una tendenza ad ulteriore divisione.

Altri esempi di comete doppie o multiple si trovano citati negli storici ma non sempre con autorità bastevole a metterli fuori d'ogni dubbio. Così secondo Eforo, istorico poco veridico, la cometa dell'anno 371 prima di Cristo, la cui apparizione seguì d'alcuni mesi il gran terremoto che distrusse Elice e Bura città dell'Acaja, prima di scomparire si sarebbe divisa in due stelle. Aristotele però, e Diodoro Siculo, che parlano accuratamente di questa cometa, non menzionano il fatto. Secondo Cassio Dione la cometa dell'anno 11 avanti Cristo, che precedette la morte di Agrippa, «scomparve dissolvendosi in parecchie fiaccole»; ma gli storici chinesi Sse-ma-tsian e Ma-tuan-lin i quali ne descrivono accuratamente l'apparizione, ed il corso, non parlano in alcun modo della divisione.

Maggior fede forse si potrà prestare al medesimo Ma-tuan-lin, ed ai continuatori di Sse-ma-tsian, quando narrano, che ad una data corrispondente presso di noi al 24 di giugno dell'anno 415 di Cristo (stile giuliano) comparvero due comete nella divisione del cielo

chiamata *Tin-she* (Ercole Serpente ed Ofiuco), le quali ambedue rasentarono la stella *Te-tso* (α di Ercole). Si può pensare che qui si tratti di una cometa doppia: ma non è neppure impossibile, che fossero due comete di corso differente, le quali per caso siansi incontrate in una medesima regione del cielo.

Più categorica sembra la narrazione di Ma-tuan-lin nel libro 294 della sua storia, secondo la quale nell'anno 896 di Cristo sarebbero apparse « tre stelle straordinarie, una grande e due piccole. Esse furono vedute fra i due asterismi *Hiu* e *Goei* (β e α dell'Aquario). Ora si avvicinavano, ora si separavano. Camminarono insieme verso l'oriente per tre giorni, poi le due minori scomparvero: infine scomparve anche la grande ».

Dopo di aver ben compreso quali conseguenze nascono dalla divisione di una cometa in due parti, non sarà difficile farsi un'idea di quello che debba avvenire, quando non una, ma moltissime particelle di una cometa si separino dal centro o nucleo principale, e si sottraggano all'influenza della sua attrazione. Tutti questi corpuscoli incomincieranno a descrivere intorno al Sole orbite fra loro indipendenti, ma poco dissimili dall'orbita del nucleo principale. Nel principio avremo dunque una nube di corpuscoli viaggianti insieme a piccole distanze, come sarebbe una torma d'uccelli di passaggio, od uno sciame d'insetti. Ma siccome è impossibile, che tutti questi corpuscoli si muovano intorno al Sole in un periodo esattamente eguale, le piccole differenze di velocità nel moto di rivoluzione si andranno progressivamente accumulando, e la distanza fra due corpuscoli qualsiasi andrà progressivamente crescendo, siccome abbiam veduto avvenire nelle due teste della cometa di Biela. La nube si verrà dunque successivamente allungando, e le sue parti si estenderanno progressivamente lungo l'ellisse descritta, e ne occuperanno sempre una porzione maggiore, finchè dopo un numero molto grande di rivoluzioni la

nube si sarà trasformata in un anello ellittico completo: e l'anello si formerà, quando le parti più veloci della nube abbiano guadagnato sulle meno veloci una rivoluzione intera.

Tale è la successione di fenomeni, che noi crediamo aver dato luogo alle correnti meteoriche descritte nella precedente lettura. Esse sono prodotte da particelle di materia abbandonata lungo l'orbita da comete divenute incapaci di trattenerle insieme in un sistema unico colla loro intrinseca attrazione. Le stelle meteoriche dunque altro non sono che polvere o farina di comete. Ma tutto questo che qui accenniamo potrebbe a taluno sembrare nulla più che una speculazione geometrica, se non avessimo cura di esporre quelle osservazioni che tendono a stabilirne la fisica realtà. Da queste osservazioni risulterà in modo evidente che le comete hanno, anche nella parte loro che sembra più densa, una struttura granulare, e una tendenza a risolversi, sotto l'azione dei raggi solari, in un gran numero di corpuscoli minutissimi.

Primo si presenta l'esempio della cometa stessa di Biela. Nella medesima apparizione, in cui la cometa per la prima volta fu vista divisa in due, il nucleo di una delle due teste apparve più volte diviso in varie parti. Maury osservò a Washington il 26 febbraio 1846, che il nucleo aveva un'apparenza confusa e sembrava multiplo. Il 14 marzo consecutivo questa molteplicità apparve più distinta, e l'assistente di Maury credette di veder cinque nuclei diversi.

Di questa struttura granulare non rari sono gli esempi fra le comete telescopiche; nelle quali spesso si vedono luccicare qua e là punti di maggior intensità, per guisa che diventa impossibile fissare il luogo del nucleo principale o centro della cometa. Tale fu per esempio l'aspetto che presentò la II cometa del 1868 il 18 giugno di quell'anno, secondo che fu osservato al grande cannocchiale di Lipsia. Tale fu pure la cometa del 1866, che accompagna le Leonidi nella loro orbita.

Anche la prima cometa del 1853 ebbe un nucleo multiplo, secondo che riferisce il P. Secchi. Un nucleo secondario si distaccò pure dal nucleo principale della grande cometa di Donati nel 1858, siccome osservarono Otto Struve e Winnecke al grande cannocchiale di Pulkova. La divisione in molti nuclei fu poi tanto evidente nella grande cometa del 1618, che essa fu osservata e descritta molto bene dal P. Cysat e da Wendelin, sebbene i cannocchiali di quell'epoca fossero ancora estremamente imperfetti. Il P. Cysat vide convertito tutto il corpo della cometa in una *congerie di minutissime stelle*. Ma notabilissimo fra tutti fu l'aspetto presentato dalla cometa del 1652 dal 21 al 27 dicembre di quell'anno. Il suo corpo aveva un diametro apparente poco inferiore a quello della Luna: il diametro reale era immenso, almeno 12 o 15 volte il diametro del nostro globo. Questa enorme congerie sferoidale era una agglomerazione informe di parti più dense e più rare e conteneva, oltre ad una massa principale, altre masse minori in numero di quattro o cinque; più un gran numero di altri punti luminosi appena discernibili nei telescopi di quel tempo. Ma la massa principale anch'essa appariva come *una congerie di molti minutissimi corpuscoli*. Sono le parole di Evelio, il più industre e diligente osservatore di quel tempo.

Ma più conclusivo ancora di tutti i precedenti sembra a me il seguente fatto, di cui io medesimo ebbi la fortuna di essere spettatore, e che vidi osservando la splendida madre delle Perseidi, la grande cometa del 1862. Addì 25 d'agosto verso dieci ore di sera, il nucleo della cometa che fino allora aveva eiettato una specie di getto luminoso simile ad una fiammella di gas, fu visto eruttar fuori una massa luminosa, la quale crebbe ad un volume a molti doppî più grande, che il volume proprio del nucleo (fig. 8). Questa massa luminosa aveva la figura di una pera; essa era bene contornata da tutte le parti, e rassomigliava ad una piccola nube, nella quale sopra un fondo lucido ad intervalli anda-

vano or qua or là luccicando punti più luminosi simili a piccolissime stelle appena discernibili. Questo interessante fenomeno era totalmente scomparso nel giorno consecutivo. Esso dimostra non solo la struttura granulare della sostanza eiettata in quel tempo dal nucleo, ma anche la potenza delle forze interiori, che erano sufficienti a cacciar quella materia disgregata a distanza di più migliaia di miglia dal nucleo principale.

Rimane ora un'altra questione da esaminare: Qual'è la forza che separa l'uno dall'altro quei corpuscoli, dalla cui agglomerazione i nuclei di certe comete sembrano in tutto od in parte risultare? Per quanto grande sia l'ignoranza in cui ci troviamo sulla composizione fisica delle comete, pure possiamo assicurare,

Fig. 8.

che almeno due forze qui entrano in azione. Primieramente le forze interne di espansione e di proiezione che il nucleo sviluppa sotto l'influsso del calore solare, quando la cometa, nel passare vicino al Sole, si gonfia e caccia fuori uno o più zampilli, solleva inviluppi sovra inviluppi, atmosfere sovra atmosfere. In queste violente rivoluzioni del corpo cometico, dove tutte le forze fisiche non domate, come sulla Terra lo sono, dalla predominante attrazione di una forte massa centrale, operano senza freno sulla piccola quantità di materia abbandonata al loro furore, non è maraviglia che diventi gasoso quello che prima era liquido o solido, e che sfasciandosi il cemento, che prima riteneva unite le particelle od i corpuscoli cometari, questi diventino preda delle correnti ascendenti, che li trasportano lunge dal centro principale. Il fenomeno da me

veduto la sera del 25 agosto 1862 sembra assai istruttivo sotto tale riguardo.

Ma io dico, che anche astraendo dalle forze interne sviluppate dal calore solare, basta la sola forza dell'attrazione a sciogliere i legami d'una massa molto rara, sia continua, come un vapore ridotto a piccolissima densità, sia divisa in piccole particelle fra loro separate, come sarebbe una nube di corpuscoli minutissimi e separati fra loro da intervalli molto grandi rispetto alle loro dimensioni. Parrà certo a molti un gran paradosso, che la forza di attrazione, invece di concentrar la materia tenda alcuna volta a disgregarla: eppure nulla sembrerà più naturale a chi abbia la pazienza di seguire la concatenazione logica dei semplici ed evidenti ragionamenti che sto per fare.

Sopra una medesima linea di strada ferrata immaginiamo due convogli che corrano nella medesima direzione, l'uno seguendo l'altro a non grande distanza: e poniamo, che il convoglio anteriore sia tirato da una locomotiva alquanto più potente, e capace di farlo correre con velocità alquanto maggiore dell'altro. Se i due convogli siano indipendenti l'uno dall'altro, è manifesto, che il primo dei due avanzando sulla strada con maggiore velocità, si verrà progressivamente allontanando dall'altro, che rimarrà indietro; e l'intervallo fra i due convogli andrà a poco a poco crescendo. Facciamo ora la supposizione, che i convogli sian legati l'uno all'altro con una fune robusta. È palese che al principio del movimento questa fune si tenderà, e per mezzo di essa il convoglio anteriore comunicherà una parte della sua forza al posteriore: di modo che tutti e due i convogli procederanno insieme uniti con una velocità intermedia alle due velocità diverse che avrebbero preso, quando fossero rimasti separati. Ma, se invece d'impiegare a questo scopo una fune robusta, mettiamo una fune troppo debole, essa da principio si distenderà, poi col progresso del tempo si verrà allungando quanto lo comporta l'ela-

sticità delle sue fibre: poi finalmente seguitando a crescere la tensione, si romperà, ed i due convogli saranno ancora diventati indipendenti fra di loro. Ora qual'è la causa della distensione, dell'allungamento, e della finale rottura della fune? Non altro, che la diversità delle forze, con cui sono spinti i due convogli. Questa diversità basta per sè a costituire una *forza divellente*, che col suo continuo operare sulla fune, finisce per romperla, e per sciogliere in due parti il sistema, che prima era unico.

Invece dei due convogli tratti da locomotive consideriamo ora due punti *A B* formanti parte di un medesimo corpo celeste (fig. 9) che gira intorno al Sole *S*: e poniamo che *A* occupi il centro di detto corpo, *B* invece si trovi ad una certa distanza da *A* nella dire-

Fig. 9.

zione della linea *AS*. In forza della gravitazione universale, il Sole attirerà a sè i punti materiali *A* e *B*; ma siccome questa forza decresce secondo i quadrati delle distanze, ed è tanto minore, quanto più il punto attratto dista da *S*; così avverrà che il punto più vicino *B* sarà spinto verso il Sole con forza maggiore che il punto centrale *A*; onde avremo qui un caso analogo a quello dei due convogli, di cui poc'anzi ho parlato: il risultato finale di questa diversità di attrazioni sarà una forza *divellente*, la quale tenderà a rompere il legame qualsiasi che tiene unito il punto *B* al centro *A* del corpo celeste.

Similmente se noi consideriamo un terzo punto *C*, il quale si trovi sul prolungamento della retta *SA*, vedremo, che esso sarà attratto verso il Sole con minor forza che il punto *A*; e per conseguenza anche fra i punti *A* e *C* nascerà una forza *divellente* di natura

intieramente analoga a quella che abbiam veduto esistere fra A e B. In ambi i casi i punti B e C saranno spinti da questa forza ad allontanarsi dal centro A.

Nel caso in cui il legame fra il punto centrale A e i due punti B e C sia abbastanza saldo per resistere a queste forze divellenti, i due punti B e C non si distaccheranno dal centro A, e il corpo celeste cui essi appartengono rimarrà coerente nelle sue parti e non si discioglierà. Tale è per esempio il caso dei pianeti in particolare del nostro globo. Qui il legame che unisce le parti è il *peso*, cioè l'attrazione reciproca che le anima e che supera di gran lunga la forza divellente prodotta dall'attrazione solare. Se supponiamo che B e C siano due corpi collocati alla superficie del nostro globo nelle posizioni che indica la fig. 9, con un facile calcolo si trova, che la forza divellente, la quale tende a separarli dal centro della Terra e a portarli in alto è appena la ventimilionesima parte del peso dei corpi stessi B e C. Perciò quando il Sole si trova perpendicolarmente al nostro zenit, oppure al nostro nadir, la forza divellente da esso prodotta scema il peso dei corpi di una ventimilionesima parte, quindi di un milligramma un corpo di venti chilogrammi di peso. Esercitandosi dunque questa forza divellente sulle particelle mobili dell'oceano e dell'aria, tutto il suo effetto si limiterà a sollevare questi inviluppi fluidi di una piccola quantità con fasi alterne dipendenti dalla posizione del Sole; nel che sta il vero meccanismo del flusso e del riflusso del mare e dell'atmosfera. La Luna esercita anch'essa una forza divellente analoga, anzi molto più potente di quella del Sole, perchè essa è a noi molto più vicina. Ma l'effetto di tali forze sulla parte solida del globo sarà assolutamente nullo.

Ma se noi ci poniamo invece che sulla Terra, in una massa di gas estremamente rarefatto, o in una nube di corpuscoli minuti disseminati a considerevoli distanze l'uno dall'altro, sarà facile immaginare tali

combinazioni, per cui le forze divellenti superino le attrazioni interiori del sistema e le disperdano. Nè per questo occorre fare supposizioni eccessive. Se invece della Terra così solida e così densa, si avesse una materia così rara, che 10 metri cubi di essa pesassero 3 grammi nelle nostre presenti bilancie, questa materia non potrebbe più resistere alla forza divellente del Sole e si disperderebbe issofatto. Se invece della Terra così solida e densa, si avesse una nube di corpuscoli del peso di un gramma ciascuno, e così fatta, che la distanza media fra due corpuscoli vicini fosse di *due metri* soltanto, questa nube sarebbe già troppo rara per restare unita nello spazio celeste; le attrazioni reciproche dei corpuscoli onde è composta non basterebbero per resistere alla forza divellente del Sole. In poco tempo la nube andrebbe disciolta in tanti corpuscoli fra loro indipendenti, i quali comincerebbero a percorrere orbite poco diverse, e formerebbero col volgere degli anni una corrente sempre più lunga.

Noi abbiamo finora parlato della forza divellente che proviene dall'attrazione del Sole. Ma anche i pianeti possono esercitare una simile forza divellente: soltanto, come la loro massa è assai minore di quella del Sole, per ottenere uguali effetti è necessario che il corpo condannato alla dissoluzione si avvicini loro molto di più. Vi ha buone ragioni per credere, che le comete periodiche descrivessero prima orbite assai diverse dalle ovali che oggi percorrono, e che il loro cambiamento di strada sia dovuto alla perturbazione di qualche grosso pianeta. Così si crede che la cometa di Biela sia stata condotta da Giove a percorrere la sua orbita presente. Questo non ha potuto avvenire, se non in causa di un grande avvicinamento della cometa al pianeta perturbatore. Mentre dunque si cambiava l'orbita della cometa, si manifestava pure con grande intensità la forza divellente del pianeta perturbatore, ed è possibile che certe correnti meteoriche abbiano avuto principio in questo modo.

Riassumendo le cose fin qui esposte, si conclude: 1.º che le comete, a cagione della grande rarità della loro materia e della tendenza che hanno a comporsi in una struttura granulare, possono offrir campo alle forze divellenti del Sole (e probabilmente anche dei pianeti) di esercitare la loro influenza; 2.º che l'avvicinamento delle comete al Sole nei periodi delle loro apparizioni, col produrre nella loro struttura i più grandiosi sconvolgimenti, può in grado eminente aiutare a disperderle in parte e dar campo alle forze divellenti suddette di manifestarsi con un più alto grado d'intensità; 3.º che il concorso di queste azioni può verosimilmente bastare a sottrarre alcune parti dall'influsso attrattivo del nucleo principale, rendendole da quello indipendenti; 4.º che, ottenuto una volta questo risultato, la dispersione di quelle parti lungo l'orbita, e la formazione di una corrente è conseguenza inevitabile, e pura questione di tempo.

Prego chi mi ascolta di notare, che la dispersione di cui si tratta si fa lungo l'orbita della cometa, e non in altra direzione. Insisto specialmente su questo punto, perchè non venga in mente ad alcuno di confondere la formazione delle correnti meteoriche collo sviluppo della coda delle comete, come più volte è avvenuto (1). La differenza essenziale fra i due fenomeni si comprenderà subito, considerando la fig. 10, la quale rappresenta la forma comune che ha l'orbita delle comete, nella parte più vicina al Sole, e la disposizione che sogliono prendere le code delle grandi comete. L'orbita *ABCD* essendo percorsa da una cometa nel verso indicato dalla saetta, la dispersione della materia del suo nucleo si farà lungo questa linea, come più volte fu detto; quindi la corrente meteorica che ne deriva se-

(1) Nel libro eccellente di SCHELLEN, intitolato *Analisi spettrale*, questo abbaglio è commesso dall'autore non solo per proprio conto, ma anche è attribuito all'autore delle presenti letture. L'opera essendo giustamente stimata e divulgata, sento il dovere di protestare contro questa interpretazione della mia teoria.

guirà pure la linea stessa *ABCD*. Invece le code si sviluppano partendo dal nucleo *in direzione opposta al Sole, S*, siccome il più volte citato chinese Ma-tuan-lin fu il primo a notare fino dal secolo XIII; e come il disegno indica. Esse si ripiegano per lo più all'indietro in forma di pennacchi. Egli è manifesto, che queste code, perdendosi nello spazio celeste produrranno un fenomeno diverso da quello che finora è stato descritto.

Una prova che le correnti meteoriche sono un fenomeno distinto dalle code sta in questo, che le due

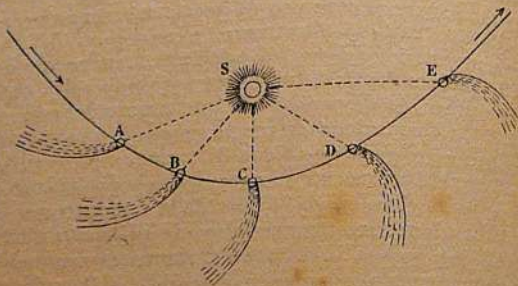



Fig. 10.

correnti meteoriche più illustri dei nostri tempi sono connesse con due comete telescopiche, delle quali una (la cometa del 1866) non aveva coda, l'altra (quella di Biela) non mostrò alcuna simile appendice all'apparizione del 1852, ed ora è diventata invisibile affatto.

È stato detto mille volte, che le recenti scoperte sulle stelle cadenti «hanno sciolto l'enigma delle comete». Gli autori di questa sentenza hanno voluto dire con questo, che i nuclei, le chiome e le code delle comete, consistono semplicemente di stelle cadenti e di corpuscoli minutissimi? Vogliono essi inferirne, che l'urto (così scioccamente temuto dal volgo) di una cometa contro la Terra abbia a risolversi in una pioggia

meteorica? E che sulla costituzione delle comete non ci sia più altro a studiare? Se così è, permettano ad uno che ha studiato molto e senza frutto il problema della costituzione delle comete, di dir loro, che i fatti finora conosciuti non ci danno punto il diritto di andar sì lontano. È possibile, che le parti più dense o i nuclei siano parzialmente composti di quei corpuscoli, ed i fatti addotti in questa lettura lo rendono anzi probabile. Ma la materia delle chiome e delle code cometarie sembra godere di proprietà che alle stelle cadenti non competono. Infatti dopo Bessel si deve riguardare come certo, che sulla materia delle chiome e delle code il Sole esercita una attrazione minore, che sulla materia dei nuclei, anzi qualche volta una vera *repulsione*. Se tal forza repulsiva, o tale minore attrazione operasse sulla materia delle correnti meteoriche, esse andrebbero disperse in un momento; in nessun caso potrebbero accompagnare così fedelmente le comete in una identica orbita.

Prima di terminare voglio rispondere a una questione, che sento fare da tutte le parti. Dunque in tal maniera potrà un corpo celeste essere annichilato e disperso in polvere minutissima? Dunque la cometa di Biela, che nei suoi due ultimi ritorni del 1866 e del 1872 (1) non si è più potuta vedere sarà andata distrutta? Dunque sarà vero che le meteore vedute la sera del 27 novembre 1872, siano, come tanti dissero, il prodotto di questo sfacelo totale?

Che le comete col progresso del tempo si vadano consumando è opinione antica. Keplero l'ha espressa chiaramente or sono 250 anni circa. *Existimo, corpus cometae, perlui, colari, atteri et denique annichilari*, et

---

(1) Quando scrissi queste linee non si era ancora parlato di una scoperta della cometa di Biela, che sarebbe stata fatta dal sig. Pogson a Madras il 2 dicembre 1872. Anche supponendo (ciò che è lontano da ogni probabilità), che la cometa trovata da Pogson sia veramente quella di Biela, non ho nulla a mutare in quello che ho detto.

sicut bombyces filo fundendo, sic cometas cauda exspiranda consumi et denique mori. Ciò è sopratutto probabile delle comete, che sviluppano una lunga coda. Ed infatti è impossibile che faccia ritorno alla sua sorgente la materia di quelle code, che vediamo stendersi per dieci, venti, e cinquanta milioni di miglia a traverso dello spazio planetario. Questa materia rimane là vagando nello stato di dispersione completa.

Encke riteneva per certo, che la cometa periodica da lui denominata manifestasse uno splendore intrinseco sempre minore da una volta all'altra; e soleva dire, sebbene non lo abbia scritto, «presto non ne rimarrà più nulla».

Se è vero quanto ha recentemente concluso Hind dalle sue investigazioni, che la cometa osservata in Europa ed in China nell'anno 1366 sia identica alla cometa scoperta da Tempel cinquecento anni dopo, cioè alla madre delle Leonidi, avremmo un esempio illustre della progressiva diminuzione delle comete. Infatti la cometa di Tempel del 1866 fu sempre telescopica, mentre quella del 1366 è descritta dagli annali chinesi come «della grandezza d'uno staio» (1) e di colore simile «a quello di un pugno di farina» e fu veduta, non occorre dirlo, ad occhio nudo. Tuttavia siccome in questa apparizione la cometa è passata a grandissima prossimità della Terra, la visibilità della cometa per gli osservatori del 1366 non sarebbe una prova molto stringente. Ma il signor Hind è d'opinione che la cometa di Tempel sia stata veduta anche nell'anno 868. Di una cometa veduta nell'868 fanno breve menzione gli annali chinesi, e più diffusamente parlano varie cronache dell'occidente. Se supponiamo che essa sia identica alla cometa di Tempel, dobbiamo conchiudere che abbia perduto da 1000 anni in qua una parte notabile del suo splendore: perchè secondo Hind la sua distanza dalla Terra nell'apparizione del-

(1) WILLIAMS, *Chinese Observations of Comets*, London, 1871.

l'868 avrebbe dovuto essere molto maggiore che nel 1366 e nel 1866: e malgrado questa maggiore distanza la cometa fu avvertita dagli osservatori di quel tempo.

Per ciò che riguarda la supposta distruzione della cometa di Biela, si deve ritenere per cosa possibile, sebbene sia lontana dall'esser provata: anzi dico, che non è perduta ogni speranza di rivedere un giorno almeno l'uno o l'altro dei capi. E la ragione di tale speranza sta in questo: che invisibilità qui non significa necessariamente distruzione o non-esistenza. Riandando infatti la storia della cometa nelle sue apparizioni del 1846 e del 1852 si trova il fatto singolarissimo, che i capi della cometa subirono tali fluttuazioni di luce, da rendersi qualche volta invisibili ai telescopi di minor potenza. Ciò significa, che nell'interno di quei due corpi vi erano cause intrinseche capaci di aumentarne o di diminuirne l'intensità luminosa. Di simili fluttuazioni di luce molte altre comete hanno offerto evidentissimi esempi: tra i quali recente affatto è quello della II cometa del 1871, scoperta dal signor Tempel. Questa cometa diventò al tutto invisibile nel mese di settembre, sebbene allora si trovasse in posizione e condizioni eccellenti per essere osservata. Al contrario altre comete, che erano già scomparse, e di cui nessuno più sperava fare osservazioni, subitamente rifulsero dopo una quasi totale estinzione della lor luce; il che avvenne per la grande cometa del 1811, e nel 1866 per la cometa periodica di Faye. Chi potrà dunque assicurare, che a simili casi o ad altri di natura ancora più spiccata non sia soggetta anche la cometa di Biela?

Ma dato pure, che dal 1852 in qua la cometa sia andata dispersa, fallace al tutto sarebbe inferirne la congettura, che dai suoi recenti fragmenti fosse costituita la grande pioggia meteorica del 27 novembre 1872. Ciò si potrebbe veramente credere, se la cometa in quel giorno si fosse proprio trovata nel luogo dove passava la Terra, e fosse stata dalla Terra attraversata in

pieno, come alcuno pensò. Ma il prof. Michez di Bologna, successore e continuatore di Santini nel difficile computo delle perturbazioni di questa cometa ha dedotto dai suoi calcoli, che nel giorno 27 novembre la cometa aveva già passato quel punto critico dell'incontro colla Terra da circa *tre mesi* e che il 27 novembre poteva trovarsi distante da noi ben forse 100 milioni di miglia!

Se, come è da credere ad ogni modo, la cometa fa parte della corrente del 27 novembre, è chiaro che in quel giorno la corrente dovea occupare sull'orbita almeno tutto lo spazio compreso tra la cometa e noi, esser quindi lunga almeno 100 milioni di miglia, ed impiegare almeno tre mesi a passare per un dato punto parte per parte. Una corrente già così lunga non può agevolmente credersi prodotto di pochi anni: essa richiede (per quanto la presente esperienza può farci intendere) almeno *secoli* per occupare tanta estensione. Se per esempio si cerca quanto tempo impiegherebbero i due capi della cometa di Biela, per trovarsi a tre mesi d'intervallo l'uno dall'altro sulla loro orbita, dal calcolo esposto in principio di questa lettura si dedurrà facilmente che occorrono per questo 120 rivoluzioni della cometa, cioè quasi 800 anni.

Se poi si riflette, che altre piogge meteoriche osservate nel 1798, nel 1830, nel 1838, nel 1841, nel 1847, nel 1859, e nel 1867 con maggiore o minore probabilità si possono riferire anche alla cometa di Biela; che vi hanno indizi, che la corrente sia multipla, cioè consti di parecchie spire, come una matassa di filo a più giri: si comprenderà che il problema è assai meno semplice, di quello che paia a prima giunta: che la corrente di Biela non è una formazione tanto recente; e che il pronunziare temerariamente su questa e su altre consimili questioni non può per ora produr altro frutto, che una maggiore incertezza e confusione d'idee in un argomento già per sè così difficile e così oscuro.

IV.

LA COMETA

Dalla appendice al giornale *La Lombardia*, anno III, n. 205.
Milano, 29 luglio 1861.

L'astro singolare, che negli ultimi giorni dello scorso giugno improvvisamente uscendo dai raggi solari, si mostrò così magnifico al mondo stupefatto, è una delle più notabili comete, che mai siano state vedute. Non è già che la sua luce potesse neppure un momento paragonarsi colla assai più luminosa cometa dell'autunno 1858 (detta di *Donati*), oppure coll'altra ancor più splendida del 1811, di cui i testimoni oculari sono unanimi nell'attestare lo straordinario sfoggio di luce. Anzi, se togliamo la parte più vicina al *nucleo*, o alla testa, la coda della presente cometa fu sempre piuttosto pallida e debole. Ma quello, che renderà memorabile ai tempi futuri l'astro che ora a poco a poco va scomparendo dal firmamento, è la lunghezza veramente straordinaria, che esso ci presentò nei primi giorni della sua apparizione.

Secondo le osservazioni fatte dal P. Secchi all'Osservatorio del Collegio Romano, la coda della cometa stendevasi il 30 giugno sopra la sfera celeste per un arco di 118 gradi. Il giorno seguente, trovandomi io in Torino, determinai la lunghezza apparente della coda: dal nucleo alla estremità ultima l'intervallo fu di 115 gradi e più. Ora il giro intiero della sfera celeste è diviso, come ognun sa, in 360 gradi. Ne segue, che in quei giorni la cometa occupò, colla sua gigantesca appendice, poco meno che *un terzo* dell'intiera circon-

ferenza del cielo; e poco meno che *due terzi* dell'ampiezza del cielo visibile sull'orizzonte!

Ora, affinchè si veda quanto raramente accada di contemplare un sì grande fenomeno, ecco qui raccolte le notizie che la storia ci ha trasmesso intorno alle comete di maggior lunghezza.

L'anno 137 avanti Cristo, verso il tempo della nascita di Mitridate re del Ponto, apparve una gran cometa. Secondo Giustino essa occupava la *quarta parte* del cielo, ed impiegava *quattro ore* a nascere ed a tramontare.

Stando ai cronisti del Basso Impero, la cometa dell'anno 400 dell'èra volgare *dal mezzo del cielo si abbassava sino all'orizzonte*. Essa si stendeva dunque per un *quarto* della circonferenza. Gli annalisti chinesi assegnano a questa cometa delle proporzioni più modeste.

L'anno 837 i Chinesi (i quali in quel tempo si occupavano di astronomia con più diligenza che gli Europei) osservarono il 22 marzo una cometa, la cui lunghezza crebbe fino al 14 aprile, nel qual giorno essa fu di 80 gradi.

Negli anni 891, 895, 905 apparvero delle grandi comete, alle quali tutte gli annalisti chinesi assegnano 100 gradi di lunghezza.

La cometa del 1264, di cui più sotto avremo a far menzione, occupava 100 gradi, ancora secondo i Chinesi.

Nel 1402 la morte di Gian Galeazzo Visconti duca di Milano fu preceduta dall'apparizione di una gran cometa. Gli scrittori dell'epoca dicono che la sua lunghezza arrivò fino a 200 *braccia*. Si potrebbe intendere il significato di questa frase, se chi la scrisse avesse avuto la precauzione di aggiungere quante *once* gli pareva larga la Luna, o di quante *braccia* estimava fosse la lunghezza dell'Orsa. In ogni caso la cometa ha dovuto essere molto lunga.

Severino Longomontano, astronomo danese, afferma che la seconda cometa del 1618 raggiunse una volta la lunghezza di 104 gradi.

Finalmente la cometa del 1769, che delle lunghissime fu l'ultima, ebbe, secondo Pingré, fino a 90 gradi di lunghezza.

Paragonando questi dati colla lunghezza osservata dal P. Secchi il 30 giugno, e da me il 1º luglio, si viene alla conclusione: che *fra tutte le comete, delle quali si hanno notizie sicure, quella del 1861 ebbe la massima lunghezza apparente.*

Dico lunghezza *apparente* e non lunghezza reale. Perchè è noto, che di due oggetti egualmente grandi, quello ci appare maggiore, che è a noi più vicino. Onde può benissimo avvenire (ed è in realtà avvenuto) che di due comete sia veramente maggiore quella che ci appare meno lunga, e ciò semplicemente perchè ella può essere più lontana. Così la gran cometa del 1811 non aveva che una mediocre lunghezza apparente (12 o 15 gradi) sebbene in certe epoche la sua vera misura giungesse fino a 50 e più milioni di miglia italiane. Al contrario la nostra cometa nella notte del 2 luglio non arrivò a 30 milioni di miglia di lunghezza; eppure essa apparve a noi otto o dieci volte più lunga che non fosse stata quella del 1811. Ma la distanza sua da noi non superò in quella notte 10 milioni di miglia: mentre quella del 1811 era incomparabilmente più lontana.

Le code delle comete sono i corpi più voluminosi di cui si abbia esempio nel sistema planetario. Onde il lettore ne abbia un'idea, apporrò qui le lunghezze, che ebbe la coda della nostra cometa in diversi tempi: dal paragone delle quali si vedrà ancora, con qual rapidità si forma e si dissolve questo imponente fenomeno.

Data		Lunghezza in miglia italiane	Lunghezza in diam. della terra
Giugno	30	16 milioni	2400
Luglio	1	22	3200
»	2	29	4300
»	3	24	3600
»	6	24	3600
»	7	21	3100
»	10	14	2100
»	11	11	1600
»	13	7	1000
»	14	4	600

Al che aggiungerò ancora che il 3 luglio la larghezza della coda verso la sua metà fu di 90 volte il diametro della Terra, ossia di più che 600 mila miglia. La distanza della Luna da noi è 207 mila miglia, quella del Sole 82 milioni.

Odo sovente domandarmi: Ma infine, questi esseri straordinari, di cui voi sapete assegnar così bene la grandezza, la distanza ed il corso, che cosa sono in sostanza? Succede qui, come in tutte le questioni difficili ed oscure, che è più franco a dar risposta colui, il quale è meno in grado di farsi un'idea della difficoltà e della complicazione del soggetto. Così mentre gli astronomi odierni si confessano tutti assai ignoranti sulla natura intrinseca di questi astri, e non osano esprimere le loro opinioni che sotto forma di congettura (salvo su alcuni punti, in cui si è giunti ad una ragionevole certezza), troviamo invece in tutti i tempi una gran copia di dogmi così detti filosofici sulle comete, innanzi a cui gli investigatori del cielo altro non possono fare, che inchinarsi arrossendo della propria ignoranza.

Alcuni filosofi antichi, fra i quali Panezio, dicevano le comete non esistere realmente, ma essere una falsa apparenza prodotta dai raggi del Sole riflessi nel concavo dei cieli, come in uno specchio.

Anassagora, Democrito, Artemidoro credevano che lo spazio fosse popolato da piccoli pianeti invisibili, i quali accumulandosi qualche volta in gruppi considerevoli, dovean produrre quel chiarore continuo, che distingue le comete.

Eraclide Pontico sentenziò essere le comete delle nuvole assai elevate, percosse dalla luce del Sole, della Luna e delle stelle.

Secondo Strabone di Lampsaco le comete erano dei fuochi avviluppati in nebbie trasparenti in modo da produrre l'apparenza di una lanterna.

Aristotele, e dietro lui i Peripatetici pronunziarono le comete risultare dalle esalazioni e dai vapori terrestri, i quali elevandosi fino alla regione del fuoco, vi s'infiammano e durano apparenti, tanto che alla fiamma non manca alimento. Questa opinione fu in voga per quasi venti secoli.

San Giovanni Damasceno nel secondo libro *De Fide Orthodoxa* dice: *Cometas a Deo creari et moveri, quo libuerit, per angelos ad terrendos mortales;* la quale opinione è, secondo un teologo commentatore, *christiano philosopho perquam dignissima*. Essa mostra difatti un concetto molto sublime della divinità, concetto, che del resto non è tanto raro neppure ai dì nostri.

L'opinione della scuola aristotelica venne scossa nelle sue basi, dacchè fu provato per molte osservazioni nei secoli XV e XVI, che le comete erano più lontane che la Luna. « Noi vediamo a Milano, — dice Jeronimo Cardano nel libro IV *de Subtilitate*, — noi vediamo una cometa, che è sotto il tropico del Capricorno: essa dunque non è formata da vapori, perchè dei semplici vapori non potrebbero essere visibili a sì gran distanza. Le comete non si formano neppur nell'etere: qual materia infiammabile potrebbe ivi produrle? Nè dite, che gli astri abbiano la forza di attirarvi delle esalazioni: vi sono comete, che durano uno, due, tre mesi, ed anche più: tutta la Terra non basterebbe ad alimentare un sì prodigioso incendio.... Il

movimento delle comete prova ch'esse sono al di là della Luna.... È dunque chiaro, che una cometa è un globo situato negli spazi celesti; i raggi del Sole, traversandolo, vi producono l'immagine d'una barba, o di una coda. Questo globo si genera in cielo, seppure in cielo possono avvenire nuove generazioni: se no, conviene dire, e senza dubbio è questa l'opinione più vera, che il cielo è popolato d'astri a noi invisibili». A questo sentire di Cardano parteciparono più o meno Giulio Scaligero, Ticone Brahe, Giovanni Evelio, ed assai altri uomini illustri di quel tempo.

Hegel, che tutto seppe, o almeno tutto volle sapere (con qual fortuna, varie sono le opinioni), naturalmente non si tacque su questo argomento. Egli considera le comete come una specie di corpi, la cui natura è in opposizione con quella della Luna. Quest'ultima è, secondo lui, il tipo dei corpi dell'assoluta *rigidezza* ed *immutabilità* (*Starrheit*): le comete al contrario sono i corpi della totale *dissoluzione*, e rappresentano colla loro fisica esistenza la più grande *mutabilità*. Mentre la Luna è legata nella sua orbita, e fissata ai ceppi di un'altra individualità (la Terra), i corpi della dissoluzione errano in orbite senza regola; essi si mostrano come una concrezione effimera e casuale, che con egual facilità, con cui li formò, il caso può dissolvere. La luna è priva di atmosfera, ed in uno stato di cristallizzazione: «le comete (cito parole testuali) appaiono come un processo formale, una massa di vapori inquieta. Niuna di esse ha mostrato finora qualche cosa di solido, un nucleo (?). Contro l'opinione degli antichi, che le comete siano meteore temporariamente formate, gli astronomi non si mostrano più così schizzinosi ed intolleranti come altre volte (?). Finora non è stato determinato il ritorno periodico, che per alcune poche; di altre fu predetto il ritorno col calcolo, ed il calcolo fu smentito (?). Davanti al concetto di un sistema solare formante una totalità essenzialmente connessa ed organizzata in se medesima deve abban-

donarsi l'idea formale, che le comete appaiano nel sistema solare per diritto e per traverso senza relazioni determinate coll'insieme del sistema. Così si può concepire il pensiero, che gli altri corpi del sistema solare *si difendano* dai loro assalti, cioè si comportino rispetto alle comete come momenti organici necessari, e provvedano alla propria conservazione. Quindi si traggono, contro al pericolo che l'incontro di una cometa può minacciare, migliori ragioni di conforto, che quelle addotte dagli astronomi, e desunte dietro le teorie di probabilità dal grande spazio vuoto che per loro resta nell'immensità dei cieli.... » (*Encyklopädie*, 3ª ediz., § 279).

Un'idea, cui Hegel qui accenna in ultimo, è stata sviluppata in completa teoria da Ritgen, professore di medicina all'Università di Giessen. Nel 1860 egli pubblicò un'opera intitolata: *Le comete considerate come stelle nello stato primordiale della loro formazione*, dove parte dal principio fondamentale, che i corpi celesti siano esseri dotati di vita organica, di successivo sviluppo, e di facoltà generativa. Non fa dunque maraviglia, ch'egli abbia scoperto nelle comete processi di nutrizione, d'accrescimento, di generazione, organi della propria conservazione e della propria difesa. Le quali cose tutte parranno singolari a chi legge; ma la stranezza è sovente più nelle frasi, che nella realtà. Per esempio, gli astronomi hanno trovato, che nel 1846 una cometa (detta di *Biela*) si divise in due: fatto certamente straordinario, ma tuttavia semplicissimo. Niuño però potrà contrastare al signor Ritgen il diritto di raccontarlo nel suo linguaggio fisiologico, dicendo che *la cometa ha figliato per divisione del proprio individuo* al modo dei polipi.

Nell'anno corrente è venuta in luce la *Nouvelle théorie des comètes et leur raison d'être*, par A. Snider. L'autore vuole, che dalle masse planetarie escano e si disperdano continuamente nello spazio delle emanazioni, di cui egli assegna perfino la quantità annuale

per la Terra. Queste non tarderebbero a guastar la macchina dell'universo, inceppando il moto libero e regolare dei pianeti. Or le comete sono appunto le *scope* destinate a spazzare le magioni d'Urania. Le emanazioni si coagulano intorno al *nucleo* o al germe della cometa, per un processo organico di continuo aumento; dal nucleo poi vengono esportate fuori dei limiti del sistema solare, e abbandonate in luoghi, dove possono venire utilizzate per la formazione di altri mondi.

Potrei scrivere un ponderoso volume, se intraprendessi di enumerare tutte le opinioni antiche e moderne intorno alle comete. Basterà dire che vale per questo soggetto quel che troppo è vero per molti altri: *Nihil tam absurdi est quod non dixerit aliquis philosophorum*. Con che non intendo io già di perdere il rispetto a veruna delle sullodate opinioni, Dio men guardi! ma il vero non può esser che uno, e qui mi vien offerta a buon mercato una intera galleria di *veri*.

Adunque, per non stancar di più la pazienza, verrò ad esporre un'opinione, ch'io mi guarderò bene di qualificare per *vera*, come le precedenti: ma che dagli astronomi oggi è ritenuta come la più probabile, e che, in parte almeno, è fondata sullo studio coscienzioso dei fatti osservati.

Strano, ma vero, questa opinione è anche la più antica. Seneca dice infatti nel libro settimo delle *Questioni naturali*: «Secondo Apollonio Mindio i Caldei mettono le comete nel numero dei corpi celesti erranti, e conoscono la natura dei loro movimenti». E Stobeo nelle *Ecloghe fisiche*: «I Caldei credevano che le comete fossero altri pianeti, cioè delle stelle erranti nascoste per tutto il tempo che elle sono troppo lontane da noi, e che appaiono di quando in quando al nostro sguardo, allorchè elle discendono verso la Terra, secondo le leggi loro prescritte: ch'esse son dette comete da quelli che ignorano essere le medesime dei veri astri, i quali sembrano annichilarsi al ritornare

nella loro propria regione, quando s'immergono nei profondi abissi dell'etere, come i pesci al fondo del mare ». A questa descrizione l'astronomia odierna nulla trova ad opporre. Certo è che i Caldei non han potuto giungere ad una definizione così semplice e così prossima ai risultati delle più approvate investigazioni astronomiche, senza aver fatto molte osservazioni sulle comete, e senza un profondo studio dei loro fenomeni. Maraviglioso a dirsi! Quando Borelli, Doerfel e Newton stabilirono su basi inconcusse la teoria dei movimenti cometari, essi non fecero altro che suggellare col calcolo e colla geometria le speculazioni di quegli antichi savi, venuti, or son quaranta secoli, dall'Iran, a spandere la civiltà nelle pianure dell'Asia anteriore. Affrettiamo dunque coi nostri voti quel giorno, in cui, mercè le gloriose fatiche di Rawlinson, di Layard, di Oppert, e di tutta questa nobile scuola, ci saranno svelati i segreti delle scritture cuneiformi, delle quali intere biblioteche furon trovate nei ruderi di Babele e di Ninive; in cui, noi tutti quanti siamo, popoli di civiltà progressiva, Slavi e Germani, Greci e Latini, Celti ed Iberi, Indi e Persi, ci troveremo, pieni di sacra venerazione, a fronte della prisca sapienza di quel gran popolo ariano, onde ci gloriamo di trarre la nostra comune origine.

Questa opinione caldea, che in sostanza fu eziandio quella dei Pitagorici, e di Seneca, modificata e perfezionata dai recenti, è in breve la seguente. Le comete sono corpi celesti, che niuna ragione ha finora provato dover essere di natura o materia diversa dagli altri pianeti; e che girano intorno al Sole secondo leggi del tutto identiche a quelle che governano il moto dei rimanenti astri. Il corso delle comete si fa generalmente in una linea ovale (*ellisse*) molto allungata; ed il Sole è situato nell'interno di questa ovale, non però nel mezzo, ma molto presso ad una delle estremità. Accade quindi, che nella maggior parte della sua rivoluzione, la cometa è molto lontana dal gran luminare, ne ri-

ceve poca luce e poco calore. In queste circostanze le comete non hanno mai coda e sono sempre invisibili; e quando incominciano ad apparire, si presentano come nuvolette rotonde, piccolissime, di luce pallida, solo visibili nei più potenti telescopi. Ma allorchè, dopo compito l'intero giro dell'ovale (per questo occorrono generalmente centinaia e migliaia d'anni), la cometa arriva in quella parte del suo orbe, che è più prossima al Sole ed a noi, il calore ed altri influssi di natura non ben conosciuta, producono nella piccola nuvoletta i più maravigliosi sconvolgimenti. L'atmosfera che circonda il *nucleo* o capo della cometa si va dilatando al punto che l'attrazione del nucleo non è più capace di contenerla in una massa sferica o globulare. Una parte quindi di essa atmosfera, libera dalla forza coercitiva del nucleo, sovente anzi da questo eruttata fuori a grandissima distanza, e spinta di più da una *repulsione* (1) che il Sole esercita su questa specie di materia, viene dal nucleo lasciata addietro, e forma la coda: la quale può considerarsi come un effluvio continuo dell'atmosfera cometica eccessivamente diradata, e disperdentesi negli spazi celesti.

Passati alcuni giorni, allontanandosi di nuovo la cometa, l'azione calorifica, ed in generale tutte le cause che avevano determinato quella gigantesca con-

---

(1) Sulla natura di questa repulsione tre sono le opinioni principali. O questa forza è semplicemente negativa, e proviene da ciò, che la materia della coda cometica è meno pesante che l'etere, quindi tende ad allontanarsi dal Sole per semplice legge d'equilibrio idrostatico (ipotesi di Newton). O il sole realmente respinge la coda con una forza di natura analoga, ma contraria alla gravitazione universale, e soggetta a leggi identiche (ipotesi di Olbers e di Bessel). O i raggi solari esercitano sulle molecole della materia una specie di impulsione o di urto meccanico, tanto più efficace, quanto più la materia della coda è rara e penetrabile ad essi raggi: i quali così trascinano questa materia sul loro cammino (ipotesi di Keplero, di Eulero e di Faye). A torto furono confuse fra loro queste ipotesi essenzialmente distinte, e, quel ch'è peggio, collo scopo di farne quistioni di priorità.

flagrazione, e la formazione della coda, diminuiscono: questa scompare a poco a poco, riducendosi a lunghezze sempre minori, fintantochè dopo qualche settimana la cometa ha riassunto, come prima, la figura di debole nuvoletta, che va ogni dì affievolendosi, fino a sparire del tutto, anche per i cannocchiali più forti. Essa riprende il suo viaggio per le parti più remote dell'immensa ovale, per ricomparire, finito un altro giro, dopo secoli, o decine di secoli.

È dunque la cometa un astro come i pianeti, il quale, al pari dei medesimi, compie i suoi giri intorno al Sole, a periodi definiti, e in cui il Sole determina, al loro avvicinarsi, quei fenomeni, che tanto ci fanno meravigliare. I pianeti conservano quasi sempre la stessa distanza dal Sole: quindi essi sono in uno stato quasi permanente. Ma le comete soffrono enormi eccessi di caldo e di freddo, nè fa stupore, che il loro stato sia così diverso nei varii stadi del loro corso.

Noi vediamo che il Sole, vibrando nell'estate i suoi raggi con maggiore violenza, cambia molto sensibilmente le condizioni della natura intorno a noi. Fra la coperta di neve del dicembre, e le messi del giugno: fra il rigido e silenzioso aere invernale, e gli uragani e i tuoni estivi, hannovi differenze assai importanti al viver nostro. Eppure le varietà delle nostre stagioni, e gli squilibri atmosferici, termici, ed elettrici che ne derivano, sono un bel nulla in paragone delle straordinarie mutazioni, che dee subire un corpo, sopra di cui in certi tempi potrebbero fondersi e vaporizzarsi i metalli, in altri, liquefarsi e gelare l'aria e tutti i gaz. Quelle inenarrabili vicende, per cui ha dovuto passare la Terra prima di diventare sede di essere viventi, e delle quali il geologo ha potuto soltanto legger la fine sulle rocce di Devonia, di Siluria, e di Cambria, non sono probabilmente per le comete che segni periodici annunziatori delle stagioni nel loro grande anno.

Lungi dunque dal riguardare le comete come astri antesignani di calamità, quali le descrive la Sibilla

nel barbaro latino dei suoi apocrifi oracoli,

Sole sub occiduo vero vocitata cometa
Stella relucebit, gladiis mortalibus index,
Et famis, et mortis, praeclarorumque virorum,
Et ducum interitus....,

dobbiamo anzi ammirare in esse la varietà e la grandezza delle opere della natura, che con cause sì semplici dà luogo ad effetti tanto sorprendenti.

Però non tutte le comete, nell'avvicinarsi al Sole, sviluppano una coda lunga e cospicua. Anzi la maggior parte, anche quando sono arrivate al loro massimo sviluppo, continuano a conservare la forma di nuvoletta sferica, siccome è accaduto per la cometa del maggio ora scorso. Tali comete sono raramente visibili all'occhio nudo, e diconsi perciò *telescopiche*. Di queste specie se ne scoprono parecchie ogni anno.

Spesso si sente muover la questione: perchè gli astronomi, i quali sogliono predire con tanta esattezza le eclissi, ed il corso dei pianeti, raramente siano in grado di annunziare l'arrivo delle comete? Al che la risposta è ovvia. I pianeti descrivono intorno al Sole delle orbite quasi circolari, non si allontanano mai a distanze straordinarie, e si possono vedere quasi in ogni parte del loro corso. Il periodo della loro rivoluzione intorno al Sole è assai breve, perchè anche per Nettuno esso non sorpassa 167 anni, termine ancora comparabile con quello della vita umana. Al contrario le comete impiegano, a descrivere le loro orbite, secoli, migliaia e miriadi d'anni; in tutto questo tempo elle ci rimangono costantemente invisibili, salvo che per alcune settimane, o al più per alcuni mesi. Come dunque dall'aver provato un orologio per un'ora non è possibile formarsi idea dell'andamento ch'esso terrà per un anno: così è molto difficile, anzi impossibile, dal breve tempo dell'apparizione di una cometa concludere la durata esatta della sua rivoluzione, ed il tempo del suo ritorno.

Ma supponiamo che una cometa sia ritornata due volte alla visibilità, e che ambedue le volte sia stato ben definito dagli astronomi quell'arco della sua orbita, che è più prossimo al Sole; l'identità delle due curve dimostrerà che le due apparizioni sono ritorni di un medesimo astro. L'intervallo fra le medesime farà conoscere il tempo della sua completa rivoluzione intorno al Sole: quindi sarà facile predire un'epoca in cui la cometa ritornerà.

Nove, e non più, sono le comete, di cui è stato possibile fino ad oggi osservare più di una apparizione, e di cui per conseguenza si può predire con esattezza i ritorni. Di queste la principale è quella di Halley, che fa il suo giro nel breve periodo di 75 anni, e della quale già furono constatate nella storia 17 apparizioni di non dubbia notizia. La prima di queste ebbe luogo 11 anni avanti Cristo; l'ultima nel 1835, e di essa dura tuttavia la memoria in molti dei viventi. Questa cometa ritornerà nel 1911. Le altre 8 comete periodiche sono tutte telescopiche, ed il loro ritorno si fa ad intervalli ancora più brevi. Quella detta di Encke ritorna ogni 40 mesi. Però nessuna di esse si annunzia al pubblico con fastoso apparato di lunga coda, e il pubblico non si degna prenderne notizia. Ma gli astronomi sentono per esse una speciale predilezione, e ciò per motivi, che qui troppo lungo sarebbe il riferire.

Alcuno ha preteso che la nostra cometa del 1861 non fosse altro che un ritorno di quella del 1556 (detta di Carlo V), la quale sarebbe, secondo loro, identica alla gran cometa del 1264 nominata in principio. Ma la comparazione del corso tenuto dalla presente cometa con quelle altre non permette neppure di sospettare una tale identità. Essa è dunque una cometa non prima veduta: o se lo fu, non abbiamo elementi bastevoli per riconoscerla nel gran numero di comete, onde parla la storia.

Altra questione è stata messa innanzi: se possa accadere, che la Terra attraversi la coda di una co-

meta, e se ciò sia avvenuto per la cometa presente. Non solo è possibile, in generale, che ciò avvenga: ma si può assegnare con certezza almeno un caso, in cui questo ha dovuto accadere. Il 26 giugno 1819 una cometa passò fra il Sole e la Terra, ed è molto verisimile che questa sia stata per alcune ore immersa nella coda. Niuno però se n'avvide allora, e la cometa fu scoperta poi 8 giorni dopo. Le code cometiche paiono dunque affatto innocue, e difatti elle sono composte di materia così sottile, che al loro paragone l'aria rarefatta al più alto grado nelle nostre macchine pneumatiche è ancora un corpo densissimo. Celebre è la teoria del teologo inglese Whiston, il quale attribuì le piogge del diluvio al precipitarsi sopra la Terra dei vapori condensati di una coda cometica.

Questa volta poco mancò veramente, che ci trovassimo avviluppati nella coda: e sarebbe tale stato il caso, se la Terra si fosse trovata di due giorni più avanti nel suo corso, oppure la cometa di due giorni più indietro nel suo. Anche senza di questo, se la coda della cometa fosse stata alquanto incurvata all'indietro (come avvenne di altre assai), un simile incontro avrebbe potuto succedere nella notte fra il 30 giugno ed il 1º luglio. Ma in quella notte le apparenze della cometa furono tali, da far supporre che noi eravamo piuttosto fuori, che dentro della coda: così che per questa volta fummo incolumi dal temuto contatto, e si perdette la rara occasione di verificare a nostre spese la teoria di Whiston.

Forster, medico inglese, pubblicò nel 1829 un'opera voluminosa intitolata: *Illustrations of the atmospherical origin of epidemic diseases*, dove cerca di mostrare, esser state le comete cagione di tutte le pestilenze, epidemie e disgrazie che afflissero l'umanità. Partendo dalla nascita di Cristo, egli andò cercando nelle storie e nelle cronache le ricordanze di tutti i disastri grandi e piccoli, formandone così una lamentevole lista fino ai nostri giorni. Similmente raccolse tutte le memorie,

autentiche e favolose, di apparizioni cometiche. Contrapponendo l'una lista all'altra, credette l'erudito medico di riscontrare una perfetta corrispondenza. E sarebbe veramente a stupire, se il contrario fosse accaduto; perchè come mai non mancarono comete in cielo, così di infelicità sulla terra v'ebbe sempre copia sufficiente. Del resto anche questa concordanza non parrà sempre a tutti così perfetta, come al dottor Forster, per es., all'anno 1668, sotto cui si legge, che *apparve una cometa, e vi fu grande mortalità di gatti in Westfalia* (!).

Uno dei meriti della vera astronomia è quello appunto di avere dissipato le ubbie dell'astrologia, e della cometomanzia. Le comete erano già presso gli antichi riputate di cattivo augurio; ma incredibile è lo spavento ch'esse diffondevano nei secoli di mezzo. Noto è che la piccola cometa del 1556 fornì a Carlo V il pretesto di sbrigarsi di una corona che cominciava a sembrargli pesante:

His ergo indiciis me mea fata vocant.

Molte comete dei secoli XV e XVI diventarono celebri per le relazioni che si supponeva avessero colle minacciose invasioni dei Turchi. I cronisti di quei tempi sogliono riferire con diligenza le apparizioni cometiche, accompagnandole di strane esagerazioni. Essi non si fecero talora scrupolo di falsare la data di un avvenimento, solo al fine di mostrarne la connessione con una cometa. Quando ciò non si poteva far comodamente, s'inventava la cometa di tutto punto. Quindi delle confusioni inestricabili negli annali cometografici. Ecco alcuni esempi di quanto può l'ignoranza congiunta colla superstizione.

«L'anno del mondo 1656, tre giorni avanti la morte di Matusalem, fu vista per tutta la Terra una cometa nel segno dei Pesci sotto Giove. In un mese percorse i 12 segni dello Zodiaco e sparì il 16 aprile.

Subito dopo venne il diluvio ». Così sta scritto nell'opera di ABRAMO ROCKENBACH, intitolata *Exempla cometarum*.

« L'anno del mondo 1944, 288 dopo il diluvio, fu veduta in Egitto vicino al Cairo (!) una cometa nel segno del Capricorno, di indole saturnina: in 65 giorni essa percorse 3 segni dello zodiaco. Dopo venne la confusione delle lingue ». ROCKENBACH.

« Nel 457 apparve sulla Britannia una stella di mirabile grandezza, alla cui coda era attaccata una grande spada, simile ad un dragone: dalla bocca del quale procedevano due raggi, di cui uno si stendeva sulle Gallie, l'altro verso l'Ibernia: questo era diviso in 7 raggi minori ». SIGEBERTO DI GEMBLOURS nella sua *Cronographia*, Parigi, 1513.

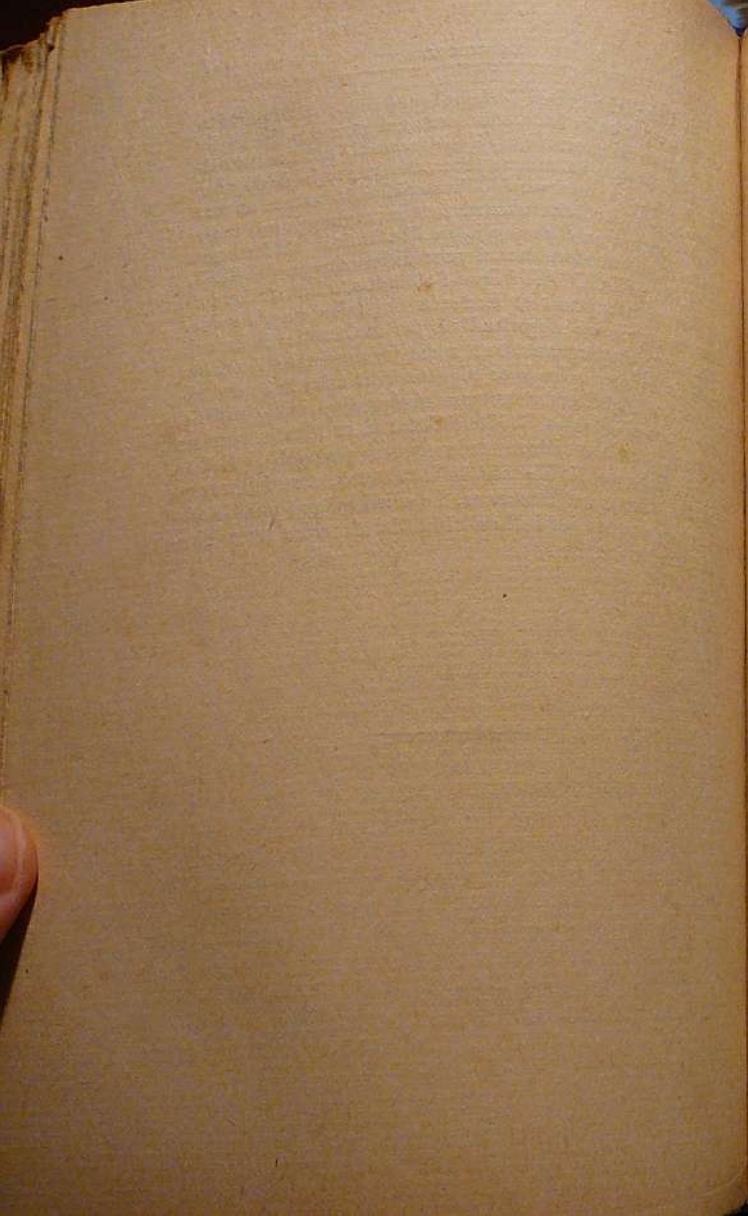
« L'anno 814, nel tempo di Michele Curopalata apparve una cometa di luce e figura meravigliosa. Essa rassomigliava a due lune, che si andavano avvicinando ed allontanando con diverse mutazioni di forma: fra le quali fu veduto lo spettro di un uomo senza testa ». GIOACHINO CAMERARIO nell'appendice alla *Cronologia di Niceforo*.

« L'anno di Cristo 1000 fu vista nel cielo una stella crinita di spaventevole grandezza: cadde dal cielo una fiaccola ardente, e nell'aria fu visto un serpente di fuoco ». ECKSTORM in un suo *Trattato delle comete*.

Ma la seguente narrazione per essere gustata appieno dee leggersi nel testo originale; il quale è di CORNELIO GEMMA, *De natura divinae charitatis*, capo 8:

« *Nullum cometae genus illi horroris magnitudine, et divinitatis specie comparandum, quod Pater Creusserus annotat visum 1527, die IIª decembris in occasu in ditione Palatinatus. Erat omnino cruentus, nube terribili, stellis et hastis et gladiis, etiam capitibus obtruncatis hinc et inde circumdatus; facies humanae, comis, barbisque hispidae colore nigricantis nubis cernebantur. Multi hoc spectaculo solo in morbum et syncopem incidere* ».

Se l'inclita arte di Guttembergo non avesse portato i suoi frutti; se in luogo di esser ogni giorno soffocati da un diluvio di giornali e di telegrammi, noi fossimo ridotti a cercare in magre cronache la storia degli anni passati, se, in una parola, l'umanità si trovasse ancora in quello stato, che alcuni tuttor vagheggiano, come ideale; ecco a un dipresso in quali termini qualche buon monaco annunzierebbe ai posteri la cometa del 1861.

A. D. MDCCCLXI Dux Sabaudus totius Italiae imperium vi usurpavit et Ecclesia Dei tribulata est valde. Cometa horrendae magnitudinis per multos dies in boreali coeli parte conflagrans, sub ensis forma versus Austrum quotidie minax vibrabat: signum certissimum, mox ultionem ex Aquilone venturam. Color eius initio rutilus, postea squallidus et lividus, Saturni et Martis speciem referens, multas diras calamitates portendit. Iisdem nempe diebus obiit Turcarum imperator, et regi Borussorum insidiatus est Beckerus. Londini magna pars incendio est consumta, et bellum civile in America inter Yankeos exarsit etc. etc.

V.

LA COMETA DEL 1882

Conferenza tenuta il 4 febbraio 1883 al Teatro Filodrammatici in Milano a favore degli inondati del Veneto e del Polesine, stampata in un opuscolo dalla Tipografia P. B. Bellini e C. di Milano.

Signori,

Volendo esporvi, come ho promesso, alcuni cenni sopra le comete in genere, e specialmente sulla magnifica cometa apparsa nello scorso autunno, lascerò da parte i vani e superstiziosi terrori, con cui eran considerate queste singolari apparizioni in tempi non ancora molto lontani da noi. Io farei quasi ingiuria alle colte persone di questo uditorio, se credessi necessario di provare, che si tratta qui di fatti puramente naturali con cui nulla hanno che fare l'ira celeste o le sorti delle nazioni. Ma sebbene non vi sia più alcun uomo ragionevole che dubiti di questo, nondimeno non tutti ancora sono persuasi, che le comete, attraversando lo spazio coi loro strascichi immensi, non possano esercitare qualche influenza sugli abitatori della Terra. Anche astraendo dalla possibilità di un urto, che per fortuna è un avvenimento estremamente poco probabile, mi è stato domandato, per esempio, se la grande cometa che abbiamo visto poc'anzi uscire dai raggi solari nel settembre passato, non abbia potuto entrare per qualche cosa nell'avvenimento che qui tutti ci riunisce, cioè nelle terribili inondazioni che proprio in quel tempo afflissero le provincie della Venezia occidentale. A questa interrogazione chi oserebbe rispondere assolutamente di no? Tanto stretti e così svariati sono i legami che connettono insieme i grandi fatti del mondo fisico, e so-

pratutto tanto poco ne conosciamo, che sarebbe temerità l'affermare impossibile una connessione per questo solo, che non vediamo alcuna ragione di supporne l'esistenza. Ma se non impossibile, diciamo tuttavia apertamente, che nel presente caso una connessione qualsiasi fra la cometa e le inondazioni sembra estremamente improbabile. Perchè appunto nei giorni, in cui maggiormente diluviarono le nostre acque, la cometa era lontanissima dalla Terra; essa si trovava quasi a contatto immediato col globo solare, dalla cui attrazione poderosa con fatica riusciva a svincolarsi. In quel tempo essa non aveva ancora sviluppato quella coda smisurata, la più lunga e la più voluminosa che si conosca negli annali dell'Astronomia. Nè è facile comprendere come l'effetto supposto della cometa avrebbe potuto prescegliere a suo teatro la piccolissima parte del globo occupata da quelle sfortunate province, senza farsi sentire anche in qualche modo su tutto il rimanente della Terra. Non è poi per nulla necessario ricorrere a cause così dubbiose e così lontane per spiegare il fatto dell'inondazione, mentre a darne conto bastano le irregolarità dei movimenti dell'atmosfera. Questi movimenti, tanto importanti per noi, sono sventuratamente ben più difficili a studiare che i movimenti delle comete; e, checchè se ne vada dicendo, ben poco, troppo poco ne conosciamo.

***

Venendo adesso alla cometa, voi desidererete anzitutto di sapere dond'è venuta, dov'è passata e dove se ne va. Io vi invito dunque a fare meco una passeggiata negli spazi celesti e mi offro a servirvi di guida. Non vi condurrò nelle sterminate profondità dell'universo, fra i milioni di Soli ond'esso è popolato: per ora mi contenterò di condurvi in giro per quella sezione o divisione dell'universo, che possiamo chiamar nostra, che meglio conosciamo, insomma nel sistema solare. E

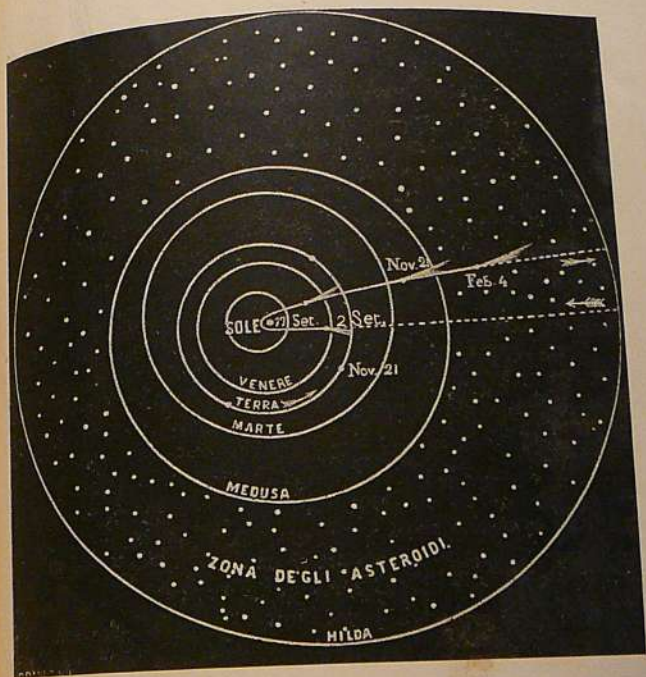
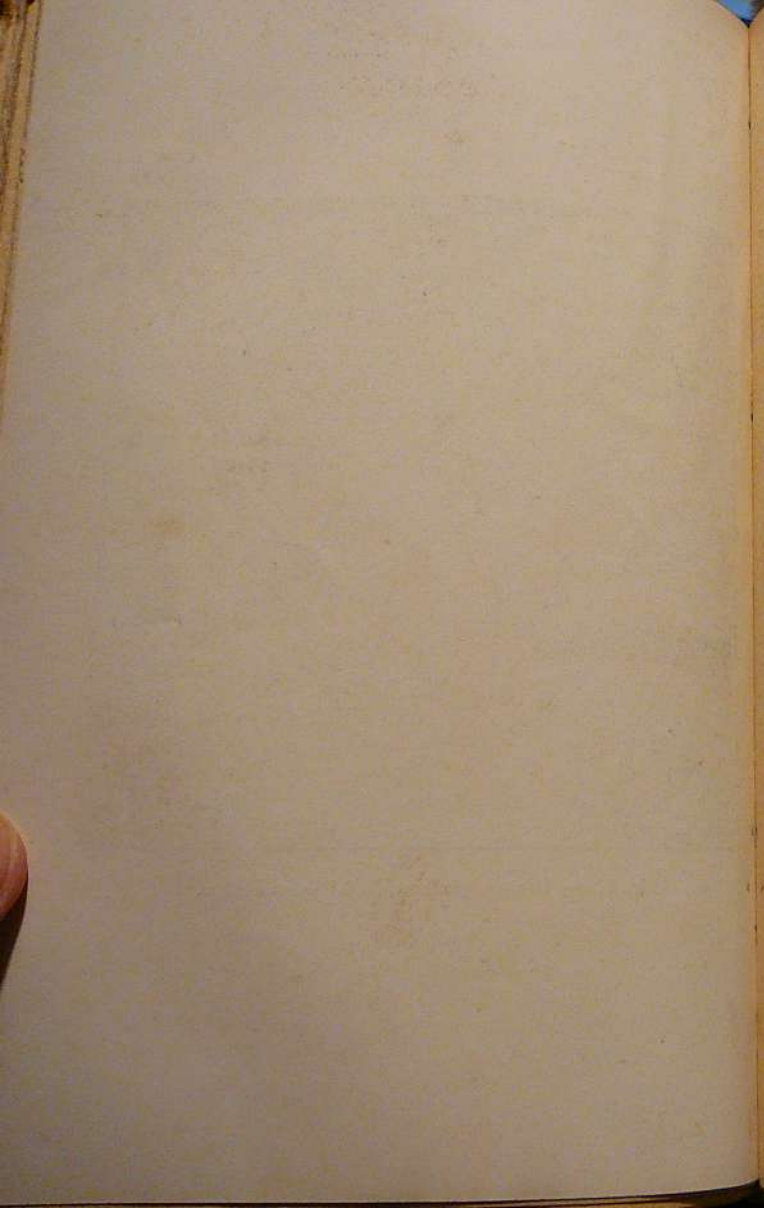



Fig. 11. — Regione più centrale del sistema solare.

come per guidarsi in una città terrestre è utile averne il piano topografico, così ci orienteremo nel nostro viaggio coll'aiuto della fig. 11, che rappresenta il piano delle parti più centrali del sistema solare.

Coll'aiuto di essa non sarà difficile intendere il corso tenuto dalla cometa durante la sua apparizione. Voi avrete notato in mezzo alle orbite dei pianeti una linea di forma assai diversa dalle altre. Questa è l'orbita descritta dalla cometa, o piuttosto una piccola parte di quell'orbita, la parte di cui si è potuto dagli astronomi constatare e misurare la posizione e la forma coll'aiuto delle osservazioni. Quella curva è composta di due rami uguali, di cui uno è percorso dalla cometa entrando nel sistema planetario, l'altro è percorso quando la cometa esce da questo sistema. I due rami si congiungono in una specie di arco o vertice rotondeggiante, che si trova vicinissimo al Sole, tanto vicino, che sarebbe stato impossibile indicarne una distanza qualunque se nel disegno non si fossero ad arte alquanto alterate le vere proporzioni. Questa linea curva rassomiglia molto alla parabola che descrive un sasso lanciato in alto in direzione quasi verticale: il sasso sale fino ad un certo punto lungo un ramo della parabola; per un istante, giunto al vertice, si muove quasi orizzontalmente; poi ricade percorrendo un ramo discendente, uguale o poco diverso dall'ascendente. Per tale motivo dicono spesso gli astronomi, che le comete descrivono una parabola nello spazio: questo è un modo di dire soltanto approssimativo; la curva delle comete nelle parti vicine al Sole rassomiglia sempre moltissimo ad una parabola, ma non c'è mai uma parabola esatta.

Così fatta è dunque la strada percorsa dalla nostra cometa. Essa però non interseca le orbite dei pianeti, come parrebbe considerando la figura. Perchè il piano del foglio rappresenta il piano del sistema planetario, in cui i pianeti aprossimativamente compiono il loro giro, non discostandosi mai dal medesimo di molto spazio: invece l'orbita della cometa giace in un piano,

che passa per il Sole, ma è notabilmente inclinato a quello dei pianeti: così che per avere un'idea giusta della posizione di quest'orbita, bisogna immaginarsi che i due rami, appoggiandosi sempre al Sole, passino sotto al foglio o dietro di esso colle loro parti più lontane, inclinandosi al piano del disegno di un certo angolo di 30 o 40 gradi. Da questo consegue, che di gran lunga la maggior parte del corso della cometa, si è fatta nelle regioni del cielo che per noi stanno sotto il piano dei circuiti planetari; le quali regioni noi chiamiamo *australi*. Quindi è avvenuto, che la cometa, specialmente durante il suo arrivo, è stata veduta meglio e più presto osservata nelle regioni australi della Terra, e che per noi è rimasta sempre bassa e prossima all'orizzonte anche quando la posizione ne era favorevole.

Lungo il corso della cometa stanno segnate diverse date, le quali indicano qual luogo essa occupava nei diversi tempi della sua apparizione. Venuta da quelle profondità extraplanetarie di cui sopra vi ho parlato, la cometa il 2 settembre era giunta nel punto segnato con questa data senza esser veduta da alcuno. Gli è che quando arrivano nelle parti interne del sistema planetario, le comete in generale si presentano dapprincipio come piccole nubi di fioca luce e poco appariscenti, quindi è difficile che attraggano subito l'attenzione anche dei più diligenti osservatori. Nella notte dal 2 al 3 di settembre, essa fu veduta la prima volta nella città di Auckland, nella Nuova Zelanda. Nei giorni seguenti, mentre si avvicinava al Sole con somma rapidità, fu scoperta successivamente al Capo di Buona Speranza, nell'Australia, nella Repubblica Argentina e nel Brasile.

Il suo movimento tendeva quasi diritto al Sole e poco mancò che non cadesse sul Sole medesimo. Non vi cadde, ma tuttavia vi si avvicinò tanto, da toccarlo quasi il giorno 17 di settembre verso le ore 6 pomeridiane. La fig. 12 fatta in scala molto più grande dell'altra, mostra più particolarmente il corso della

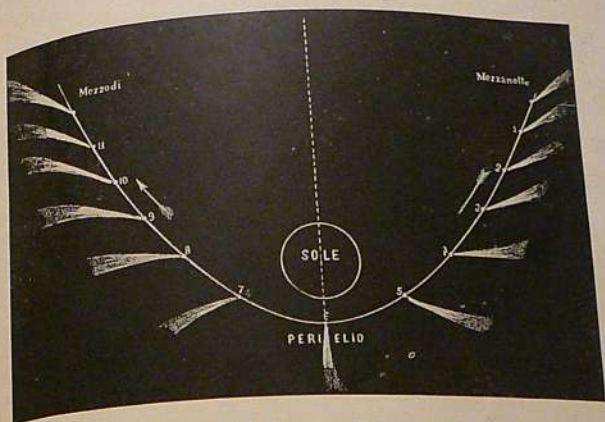



Fig. 12. — Orbita della Cometa nella parte più vicina al Sole.

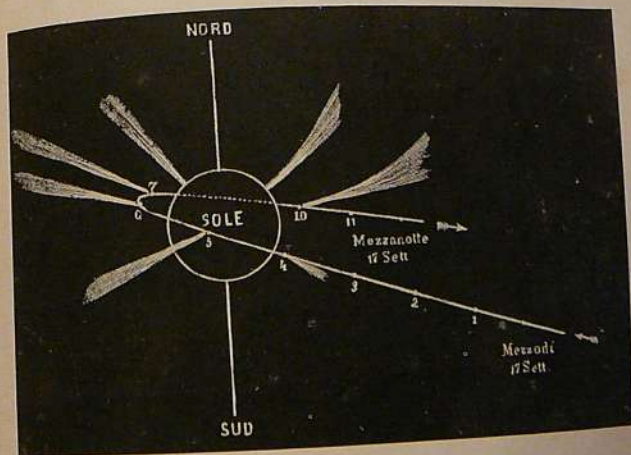
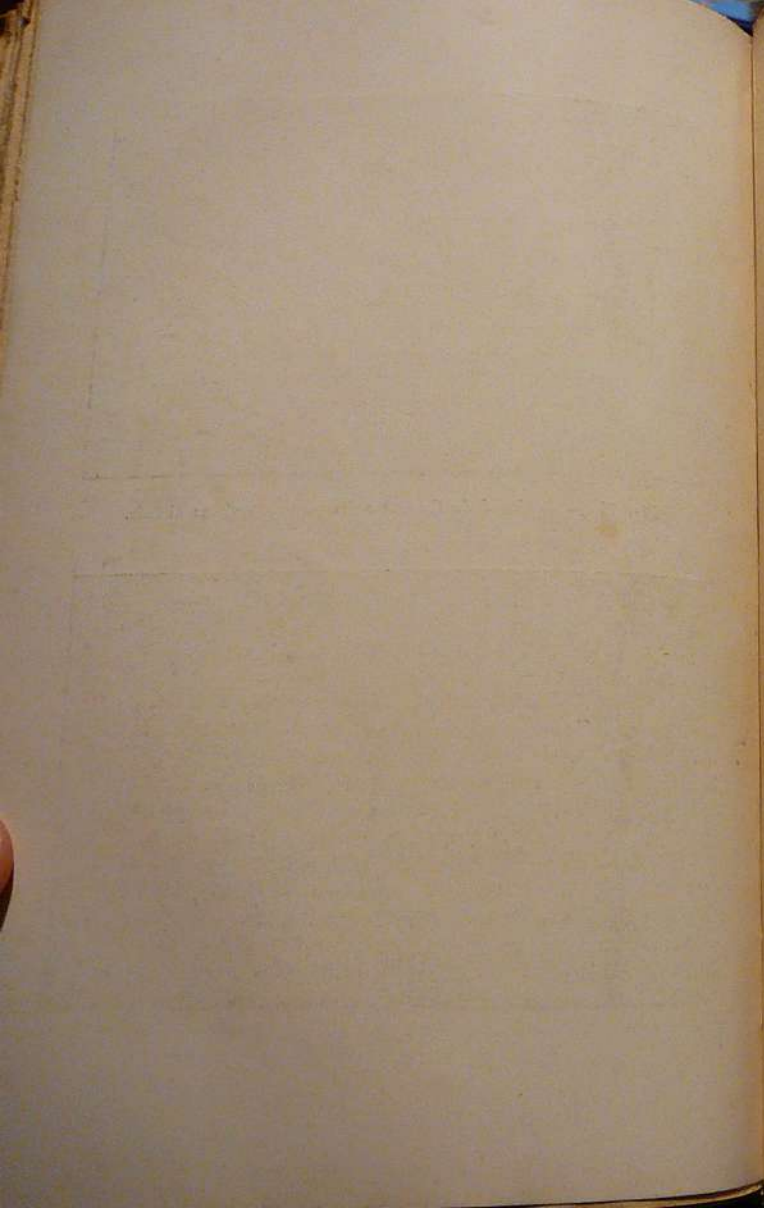



Fig. 13.

cometa nelle dodici ore comprese fra il mezzogiorno e la mezzanotte del 17 settembre durante il periodo del massimo avvicinamento. Come si vede, in queste dodici ore la cometa percorse il vertice della sua orbita, facendo intorno al Sole più che un mezzo giro: alle 6 ore pomeridiane essa arrivò al punto della massima vicinanza al Sole, che è il punto cui gli astronomi danno il nome di *perielio*. In questo istante la testa o il nucleo della cometa era lontano dalla superficie del Sole solamente della terza parte del diametro di questo astro, cioè non più che 37 diametri della Terra, dei quali il diametro solare contiene 110. In questa rapida caduta della cometa verso il Sole, la velocità del suo movimento crebbe fino al valore quasi inconcepibile di 480 chilometri ogni minuto secondo, che fu la massima in tutto il corso della cometa. È questa una velocità 16 volte maggiore di quella, con cui la Terra descrive il suo corso annuale intorno al Sole e 4 a 500 volte maggiore di quelle che sogliono avere le palle dei grandi pezzi d'artiglieria. Questa enorme velocità e il grande slancio laterale che acquistò la cometa in conseguenza, bastarono in quel momento a vincere la forza attrattiva con cui il Sole la tirava a sè ed impedirono al gran luminare di inghiottirla e di terminarne così l'esistenza. Superato il punto critico del massimo avvicinamento, la cometa se ne ritornò per una direzione poco diversa da quella per cui era venuta. L'attrazione del Sole non ha cessato di produrre il suo effetto, rallentandone successivamente la fuga; ma animata da quella gran velocità, la cometa ha avuto il tempo di mettersi in sicuro arrivando in regioni più lontane, dove l'attrazione del Sole è più debole e donde non sarà richiamata che dopo lunghissimo intervallo.

Gli astronomi del Capo di Buona Speranza ebbero la fortuna di assistere a questo nuovo spettacolo di un astro, che precipitandosi dalle profondità dei cieli extraplanetari andò diritto al Sole, quasi volesse cadervi sopra, e in poche ore tuttavia se ne disciolse, rove-

sciando quasi completamente la direzione del suo movimento e ritornando dond'era venuto. In quell'epoca la Terra era collocata molto obliquamente rispetto all'arco descritto dalla cometa intorno al Sole; così che invece di contemplarne il movimento in pieno prospetto, come indicherebbe la fig. 12, quegli astronomi lo videro sotto uno scorcio molto forte di prospettiva, quasi di taglio, nel modo che indica la fig. 13.

In questa il gran globo figura il Sole, l'arco percorso dalla cometa è indicato dalla linea curva che lo avviluppa: lungo il medesimo arco, con altrettante figure numerate, sono indicate le posizioni che viste dalla Terra, la Cometa sembrò prendere successivamente d'ora in ora da mezzodì a mezzanotte del 17 settembre. Da questa figura si vede, che la cometa fra le 4 e le 6 della sera di quel giorno è passata davanti al Sole, poi girandogli intorno, fra le 7 e le 10 ore si è nascosta dietro al medesimo, uscendo poi fuori per allontanarsene vieppiù nei giorni consecutivi.

In quelle ore la cometa, esposta ad un calore straordinario, molte migliaia di volte maggiore di quello che la Terra riceve dal Sole, si gonfiò tanto e divenne tanto luminosa, che senza alcuna difficoltà gli astronomi del Capo (ed anche alcuni astronomi d'Europa) poterono vederla accanto al Sole. Ai primi anzi riuscì di fare l'osservazione, unica fino ad oggi, del passaggio di una cometa davanti al disco solare. Era questo un antico desiderio degli astronomi, di poter vedere una volta passare una cometa sul Sole, per sapere se nella testa di questi astri, che appare spesso come una stella molto brillante, vi è nascosto quache nucleo opaco di dimensioni sensibili, e per giudicare inoltre della densità delle atmosfere luminose che danno tanto splendore, producendo quell'apparenza di stella. Alcuno aveva creduto di veder passare davanti al Sole una cometa del 1819, ma si trovò che era stata un'illusione. Qui non c'era illusione possibile: i signori Finlay ed Elkin dell'osservatorio del Capo, videro la cometa avanzarsi

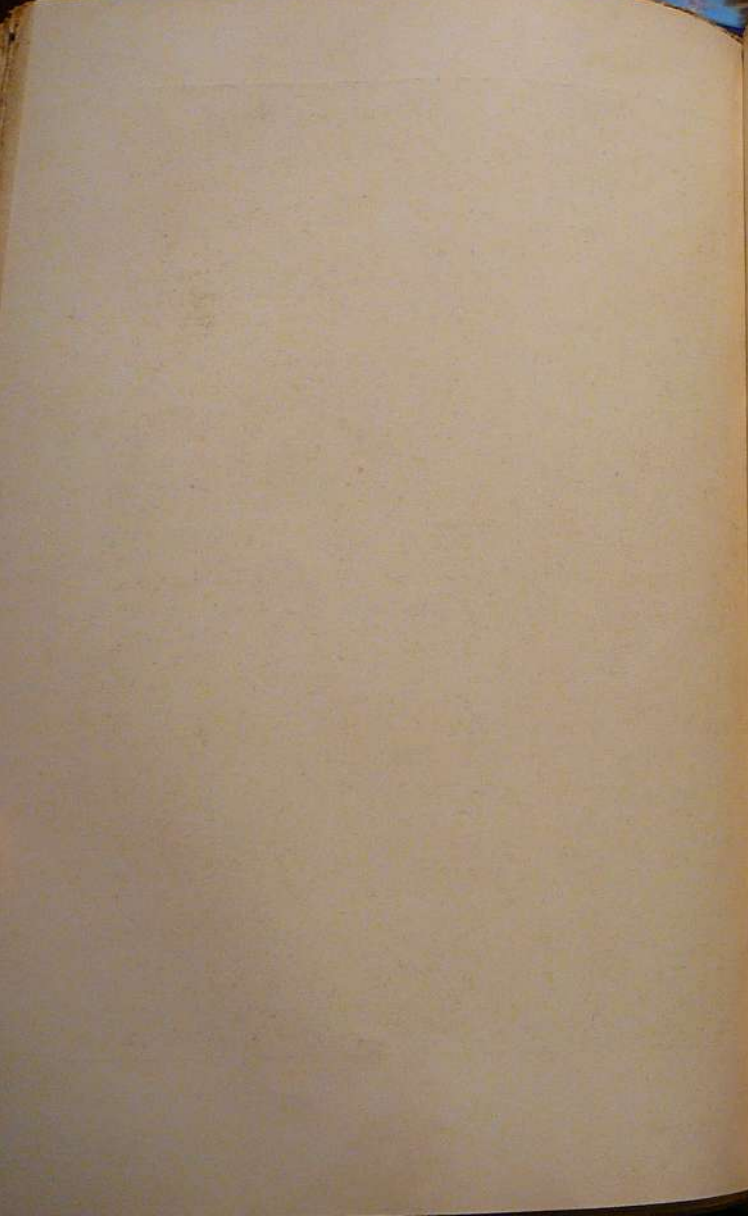
gradatamente verso l'orlo del Sole, toccarlo, e poi... scomparire affatto. Per quanto eglino s'ingegnassero, non riuscirono a veder sul Sole alcuna traccia della cometa, sebbene potessero indicare con precisione su qual punto del Sole si trovava. La cometa era dunque tanto trasparente e tanto rara, che qualunque più tenue nube delle nostre avrebbe offuscato il Sole di più: il suo nucleo solido (dato che ne avesse, ed è quasi certo che doveva averne), era tanto piccolo, da non produrre sul Sole alcuna macchia od ombra di dimensioni sensibili al telescopio dell'osservatore. Uscita finalmente dalle vicinanze del globo solare, cominciarono a manifestarsi gli effetti del tremendo calore sostenuto, e si venne sviluppando quella splendida coda, che tutti hanno potuto vedere nelle ore mattutine di ottobre e di novembre, e che si può vedere anche adesso, sebbene grandemente diminuita di luce e di lunghezza.

Ma la parte visibile del corso della cometa, quale si vede delineata nella fig. 11, non è che una piccolissima porzione di tutto il giro. È difficilissimo, e in molti casi impossibile, dall'osservazione di una piccola parte dell'orbita di un corpo celeste, dedurre con sicurezza la forma e le misure dell'orbita intiera. Sull'orbita completa del nuovo astro io non posso quindi darvi per adesso che notizie approssimative, tanto più che le osservazioni della cometa si vanno tuttora continuando, e soltanto dopo la sua disparizione s'intraprenderanno su di essa computi esatti e definitivi. Per ora sappiate, che gli studî fatti sulle osservazioni di settembre, ottobre e novembre hanno condotto a stabilire, che la cometa è periodica, ma di lungo periodo, e che essa ritorna al Sole a determinati intervalli di 8 a 9 secoli. La penultima apparizione ha dunque avuto luogo nel secolo XI durante le tenebre più fitte del Medio Evo, e la terz'ultima al tempo degli imperatori romani: non si possono per ora assegnare epoche più precise. L'orbita della cometa è una ovale lunga e

stretta, di cui noi non abbiamo potuto vedere, che l'estremità più vicina al Sole: l'altra estremità giace ad una distanza 175 volte maggiore che il raggio dell'orbe terrestre, e quasi sei volte maggiore che la distanza di Nettuno, ultimo dei pianeti. Per rappresentarla nelle misure della fig. 11 sarebbe stato necessario un foglio di circa un metro di lunghezza. La cometa percorre quest'ovale in otto o nove secoli, ma con diversa celerità nelle diverse parti. Passò vicino al Sole percorrendo ogni minuto secondo 480 chilometri (presso a poco la distanza rettilinea da Milano a Roma): nel punto della massima lontananza la sua velocità fu circa 23,000 volte minore, cioè di soli 21 metri per minuto secondo: ciò che è una velocità abbastanza comune sulle ferrovie.

Dirò adesso qualche cosa dell'aspetto e della grandezza della cometa. Come ho già accennato, prima di avvicinarsi al Sole la cometa era di apparenza abbastanza modesta, ma sotto l'influsso del gran luminare, quella massa luminosa che formava quasi una stella nella testa della cometa, crebbe presto di splendore tanto che il 16 settembre già al Capo di Buona Speranza si potè osservarla tutto il giorno, e il 17 settembre si riuscì ad osservarne il contatto immediato coll'orlo del disco solare, cosa che non avviene mai nè dei pianeti, nè delle stelle più luminose. Questa gran luce in parte proveniva dalla fortissima illuminazione del Sole, in parte era luce propria, e probabilmente luce di scariche elettriche, secondo che credono oggi i fisici più esperti di questa materia. Continuò ad essere visibile in pieno giorno fino al 20 di settembre, poi nell'allontanarsi dal Sole incominciò a filare quella stupenda coda, che progressivamente si venne allungando fin dopo la metà di novembre.

La fig. 14, disegnata dal signor Fornioni, rappresenta in modo assai fedele l'aspetto che aveva la cometa nella mattina del 21 novembre passato, quando essa era già molto diminuita di splendore, ma aveva

Fig. 14. — La Cometa nella mattina del 12 novembre 1882.

raggiunto il suo massimo sviluppo quanto a dimensioni. In questo disegno sono indicate le piccole stelle, appartenenti alle costellazioni dell'Idra e della Nave Argo, che splendevano vivacemente attraverso alla cometa, attestando così quello che già risultava dal suo passaggio attraverso al disco solare, esser cioè i suoi inviluppi formati di tenuissima e trasparentissima materia, a confronto della quale anche l'aria più rarefatta delle nostre migliori macchine pneumatiche è sempre qualche cosa di molto denso. La coda non sembrava tanto lunga, molto minore in apparenza per esempio che quella della cometa del 1861, che prendeva metà del cielo; e ciò, a causa del forte scorcio di prospettiva sotto cui l'abbiam veduta, e della posizione obliqua del raggio visuale rispetto alla coda stessa. In realtà era assai più lunga che tutte le altre comete finora osservate. Se la posizione della Terra fosse stata più favorevole, avrebbe potuto apparire lunga quattro o cinque volte di più. La sua lunghezza vera poi in quel giorno fu tanto favolosa, che nulla di uguale ricordano gli annali dell'astronomia: essa fu di cinquantamila volte il diametro della Terra, o in altri termini, quattro volte la distanza della Terra dal Sole, o 600 milioni di chilometri. La mostruosa nube, avendo la testa presso l'orbita di Marte, estendeva la coda fino a quella di Giove, e il numero delle miglia cubiche di spazio da essa occupato era tante grande, che è affatto inutile il dirlo. Tanto sfarzo o tanta apparenza non nascondevano tuttavia che pochissima sostanza: un astronomo stimò che tutta la materia di quella coda fosse di pochi chilogrammi. Ad ogni modo è possibile che il Monte Bianco o fors'anco la gran Piramide d'Egitto contengano più materia che non ve ne fosse in quella coda, e tale stima si può appoggiare a ragionamenti molto plausibili.

La parte più centrale e più luminosa, che vedete nella figura è quella che si manifestava all'occhio nudo, o nei comuni telescopi. Ma adoperando certa specie di

telescopi di piccolo ingrandimento e di molta chiarezza si è potuto constatare che quanto si vedeva a primo sguardo, era soltanto la parte più densa, che, quanto a volume, formava una piccola parte dell'intera cometa. Lateralmente alla coda più luminosa si notava infatti esser un'altra coda ugualmente larga e similmente curvata, ma più fosca e più debole, la quale abbracciava la testa della cometa, e passando al di là formava su di essa testa qualche cosa come un prolungamento. La coda essendo, come quella di tutte le comete rivolta dalla parte opposta al Sole, quella specie di prolungamento si allungava alquanto nella direzione del Sole, per espandersi poi in una specie di semicircolo: da questo la materia luminosa ritornava indietro verso la coda centrale, abbracciandola dalle due parti e formando così intorno ad essa come due ali o code laterali molto grandi e di luce debolissima. Fra queste ali e la coda centrale vi erano a destra e a sinistra di questa due striscie intieramente oscure. Con queste immense appendici le dimensioni trasversali della coda venivano a misurare circa 3000 diametri della Terra od un quarto della nostra distanza dal Sole.

Con tutte queste addizioni, che raramente furono vedute in altre comete, l'aspetto di questa era proprio nuovo ed imponente, e si può dire che in quel punto aveva raggiunto il più alto grado di magnificenza. Dopo il 21 novembre continuò ad impallidire, e cominciò a perdere nelle sue dimensioni apparenti, però con molta lentezza; tanto che al principio di gennaio la coda era ancora abbastanza visibile, nè del tutto era scomparsa il 28 gennaio, nella sera del qual giorno l'aria purissima e la notte ben scura permisero di seguire l'andamento per la estensione di circa 8 gradi, che è un terzo della lunghezza qui figurata. Non si vedeva più che la coda principale di mezzo; la coda secondaria e le due ali laterali erano affatto invisibili. Fra qualche settimana si cesserà di vedere la coda, e il tutto riprenderà l'aspetto origi-

nario di una piccola nube poco luminosa, la quale finirà per scomparire anch'essa, affievolendosi progressivamente la sua luce a misura che più si allontana. Essa fuggirà dal Sole, ridotta ad una piccola massa, denudata dalle sue splendide atmosfere e priva di una parte della materia, che aveva arrivando; nè ritornerà che per subire di qui ad 8 o 900 anni una serie di vicende uguali a quelle poc'anzi sofferte.

Ora permettetemi di dire alcune parole sul modo con cui si producono questi magnifici fenomeni. Il vero nucleo delle comete è un corpo solido o liquido di dimensioni talmente piccole, che raramente si è potuto vederlo, od accertarsi in modo plausibile della sua esistenza: nella maggior parte delle comete, come in questa, pare sia troppo piccolo per rendersi visibile anche nei potenti telescopi. Pare ancora che in certe comete tal nucleo non sia unico, ma ve ne sian parecchi piccolissimi e vicinissimi, le cui atmosfere speciali sviluppandosi finiscono per confondersi in un'atmosfera unica. Finchè un tal corpo (o sistema di corpi) rimane lungi dal Sole negli spazi extraplanetari, dove regna una temperatura bassissima (secondo le stime più moderate di 150 gradi sotto zero e secondo altri 273 gradi, che è il più gran freddo possibile in natura), finchè esso corre quelle regioni dove il Sole non ha quasi più alcuna forza per riscaldarlo, le materie componenti il medesimo devono essere in massima parte allo stato solido o almeno liquido: e se vi è qualche parte gasosa o vaporosa, dev'essere ridotta a grande densità ed a piccolo volume. L'avvicinarsi progressivo lungo il ramo discendente della sua orbita deve aver per effetto di gonfiare l'atmosfera che lo circonda o di formarne una, se questa già non esiste, col ridurne allo stato di vapore una parte di ciò che sta alla superficie. In breve, il nucleo comincia ad apparire circondato da un'aureola luminosa, prima debole, poi sempre più brillante che forma la stella

o la testa della cometa, e la cometa comincia allora a diventar visibile. Molte comete si arrestano a questo primo stadio, sia per la poca materia atta a formar le loro atmosfere, sia perchè scendendo negli spazi interni del sistema planetario, non si avvicinano abbastanza al Sole per sentirne in qualche maggior grado gli effetti. Vi sono comete, che non entrano neppure nell'orbita della Terra; altre non arrivano fino a quella di Marte; di una di esse, apparsa nel 1729, si sa appena di poco spazio esser penetrata nell'orbita di Giove: in generale tutte queste comete, salvo poche eccezioni, non essendo esposte che in grado assai mediocre all'influenza del Sole, non possono acquistare grande sviluppo e la maggior parte di loro rimane allo stato telescopico. Peggio accade di quelle probabilmente numerosissime che arrestano la loro corsa discendente all'altezza di Giove o di Saturno, od anche a maggior distanza: di queste non se n'è potuto vedere neppur una, e quindi bisogna solo parlarne per congettura.

Quando però una cometa, come questa nostra, penetra nei più intimi recessi del sistema planetario, si trova nelle condizioni migliori per sviluppare le sue atmosfere, almeno quando essa contiene sufficiente materia in sè per formarle: e tanto più potrà diventar luminosa e grande a parità di circostanze, quanto più le sarà concesso d'avvicinarsi al Sole. Ma il Sole, mentre attrae a sè il nucleo e gli fa descrivere la curva parabolica, ha la proprietà di respingere da sè una parte delle materie contenute nell'atmosfera della cometa. Come e per qual causa ciò avvenga, e quale sia la condizione per cui quella materia è respinta, non è ben noto, e troppo lungo sarebbe l'intrattenervi delle varie ipotesi inventate su tale argomento. L'effetto della repulsione è tuttavia indubitabile e manifesto dal fatto, che quelle parti dell'atmosfera cometica, sotto l'impulso del Sole, quasi come cacciate da forte vento che soffi da esso, si di-

staccano dal nucleo, e fuggono in direzione opposta al Sole. Così in quella direzione opposta al Sole si forma la coda, la quale nutrita successivamente dalle evaporazioni incessanti del nucleo, si va allungando finchè l'atmosfera del nucleo è tutta passata allo stato repulsivo, tutta s'è riversata nella coda, e finalmente s'è esausta. Ciò avviene ordinariamente quando il nucleo, passato il punto del massimo avvicinamento al Sole, si è di nuovo tanto allontanato da questo, da sentire un'altra volta il freddo cosmico, e da diventar disadatto a supplire più oltre con nuove evaporazioni alle parti d'atmosfera, che la coda gli va sottraendo. Perduti i vecchi inviluppi, incapace di formarsene dei nuovi, il nucleo è ridotto di nuovo a sè medesimo, e la cometa scompare.

La coda delle comete è dunque formata di parti di materia, che il Sole respinge da sè con forza misteriosa. Ma durante il periodo di conflagrazione che abbiamo descritto, succedono nella cometa ancora altri fatti interessanti. Essa è tanto gonfiata e sconvolta dal calore solare, che il piccolo nucleo talvolta non riesce più a tenerne insieme le parti colla sua propria assai piccola attrazione. Succedono alla superficie del medesimo violente eruzioni, in forza delle quali dei frantumi del nucleo stesso sono sollevati e portati a distanze tali, che l'attrazione del medesimo non è più capace di richiamarli. Questi frantumi corrono allora gli spazi celesti come corpi indipendenti in orbite poco diverse da quella che il nucleo stesso percorre. Avviene talvolta che uno dei pezzi è tanto grande, da formare una nuova cometa a parte: allora si ha il fenomeno della divisione di una cometa in due, che già è stato notato più d'una volta. Ma per lo più sembra che i pezzi distaccati dal nucleo principale siano minutissimi e numerosissimi, ch'esso si vada disfacendo per esempio a quel modo che fa un pezzo di sale gettato sul fuoco, che si risolve in scintille piccolissime e numerosissime. In questo caso si forma lungo la strada

percorsa dal nucleo una specie di corrente o di processione di corpuscoli, che finisce col tempo per occupare in parte od anche tutta l'orbita della cometa, muovendosi lungo quella. Molte comete, se non tutte, hanno formato lungo il loro corso un simile codazzo: e gli intervalli planetari sono popolati di questi corpuscoli risultanti dallo sfasciamento parziale delle comete. Quando la Terra, nel suo giro annuo attraversa una di tali processioni, incontra una parte di quei corpuscoli, ciascuno dei quali, infiammandosi a contatto dell'atmosfera terrestre, vi brucia e vi si perde dopo brevissimo tempo, formando così ciò che si chiama una stella cadente. Le stelle cadenti sono dunque nient'altro che particelle minute di corpi planetari abbandonate nello spazio celeste, e raccolte successivamente dalla Terra nell'annuale suo giro.

Di un simile processo di disgregazione di un corpo cometico si è avuto un esempio appunto nella cometa presente. Infatti, un poco prima della metà di ottobre, il signor Schmidt, astronomo in Atene, osservò essersi divisa dalla cometa principale una rara nube di debolissima luce e di forma irregolare, la quale andò progressivamente allontanandosi dalla cometa e finì per disperdersi. Vi erano in essa parti più condensate e centri di maggior luce, ma la forma generale non era quella di una cometa. Egli è molto probabile che quella nube fosse composta di piccoli corpuscoli, gettati con forza dal nucleo principale. L'atmosfera stessa, che circondava questo nucleo principale, dava segni di fenomeni analoghi; essa infatti non era rotonda e simmetrica, ma allungata in forma di fuso, ed in essa si notavano parecchi centri più luminosi di vario splendore, avviluppati tutti in una nebulosità ovale.

Non è nuovo del resto negli annali dell'astronomia il caso della divisione di una cometa in due parti: anzi si ha ragione di credere, che da questa stessa nostra cometa in tempi anteriori siasi distaccata un'altra cometa più piccola, che fu osservata nelle regioni au-

strali della Terra sul principio del 1880 e che percorse nello spazio un'orbita assai poco diversa. Di più altre comete si cita la scomparsa totale in circostanze che fanno supporre uno sfasciamento delle medesime in minutissime parti.

Io passerò adesso ad un'altra questione: di che cosa son fatte le comete? Venti anni fa una tale domanda sarebbe sembrata assurda o per lo meno temeraria. È già abbastanza singolare e per molti difficile a comprendere, come si sia potuto arrivare alla misura della grandezza e della distanza dei corpi celesti; molto più singolare e più incredibile parrà che in molti casi sia stato possibile determinarne, almeno parzialmente, la composizione chimica. Eppure la cosa è abbastanza semplice e naturale, come spero di farvi vedere.

Ognuno di voi ha avuto occasione di ammirare quelle belle scintille dei fuochi d'artifizio, che splendono con colori d'insuperabile varietà e purezza. Si ottengono tali effetti facendo bruciare in quei fuochi diverse sostanze e chi è pratico di quell'arte, anche senza domandare al pirotecnico, saprà dire al solo vedere il colore di quelle scintille, quale provenga dalla combustione del rame, dello zinco o della limatura di ferro. La qualità della luce irradiata basta dunque in questo caso a giudicare della natura dei corpi che ardono in quelle scintille senza altro esame.

Un principio consimile, benchè più artificioso e fondato sopra nozioni più complicate, è quello di cui si servono i chimici per riconoscere una sostanza nient'altro che dalla qualità della luce che essa irradia, quando col sottoporla ad altissima temperatura, si riesce a portarla allo stato di vapore splendente. Essi impiegano a ciò un apparato, detto *spettroscopio*, del quale sarebbe troppo lungo spiegare qui la struttura ed il modo di azione, ma che gode di questa qualità importante: che guardando con esso, come si farebbe con un cannocchiale, la sostanza che arde, si può leggere nell'istrumento, scritto a caratteri manifesti,

il nome di quella sostanza: il nome non già scritto in caratteri alfabetici, intendetemi bene, e neppure con caratteri cuneiformi o geroglifici; ma con caratteri inventati dalla natura medesima e che una volta bene studiati s'intendono con tutta facilità, senza pericolo di errore alcuno. Consistono questi caratteri per ogni sostanza in una serie di righe luminose disposte fra loro parallelamente, come sarebbero tante colonne, ad intervalli però disuguali. Esse sono diversamente colorate e la loro luce è di diversa intensità. Ma per ciascuna data sostanza il numero, ordine, splendore e colore delle righe è sempre il medesimo e sempre ugualmente proporzionati sono i loro intervalli. Così i chimici riconoscono facilmente il gas idrogeno che è uno dei due gas onde è fatta l'acqua, da tre righe principali, delle quali la prima e più forte è di color rosso vivissimo, la seconda di color verde tendente all'azzurro, la terza di azzurro cupo: gli intervalli non sono uguali, ma quella di mezzo è nei comuni spettroscopi alquanto più vicina alla terza, che alla prima (1). L'apparenza delle tre righe proviene da questo, che la luce emanata dall'idrogeno incandescente non è semplice, ma si può decomporre in tre luci di specie diversa, ciascuna delle quali è veramente semplice ed indecomponibile. Si può paragonare dunque la luce dell'idrogeno al suono risultante dalla combinazione concorde o discorde di tre tasti del pianoforte, ciascuno dei quali dà un suono semplice od elementare che non si può riprodurre in alcun modo colla combinazione di altri tasti più gravi o più acuti. Lo spettroscopio separa le tre luci elementari che irradia l'idrogeno, obbligando ciascuna di esse a formare una riga luminosa in posizione diversa.

Similmente il metallo della soda detto perciò, il sodio, quando sia, con forte riscaldamento, ridotto allo

(1) Non si tien conto d'una quarta riga più debole e più difficile a vedere.

stato di vapore ardente, mostra una viva luce, la quale nello spettroscopio produce due splendide linee gialle vicinissime fra di loro e c'insegna la luce del sodio esser composta di due luci elementari in tinta gialla pochissimo diversa. Quando dunque esaminando con questo strumento un corpo che arde, il chimico riconosce le tre righe dell'idrogeno o le due righe del sodio, conclude senza pericolo di sbagliarsi che nella composizione di quel corpo entra l'idrogeno ed il sodio. E quando per caso vi trova delle righe non appartenenti ad alcuna sostanza conosciuta, può ben entrare in sospetto che quelle righe provengano da una sostanza nuova e così scoprire materie prima ignorate. In questo modo recentemente i chimici hanno fatto la scoperta di parecchi nuovi metalli.

Notate adesso, che in tutto questo non ha nessuna influenza la lontananza del corpo incandescente dallo strumento: purchè la luce che manda sia in quantità bastante per illuminare bene lo spettroscopio, poco importa che esso si trovi alla distanza di un metro o di 10 o di 1000. Io potrò dunque riconoscere, per esempio, di notte stando a Milano, il sodio o l'idrogeno ardente in una fiamma collocata a Monza, purchè questa sia abbastanza grande. O che difficoltà avremo adesso di fare un altro passo e rivolgendo lo spettroscopio al Sole, alle stelle ed a tutte le fiaccole ardenti in cielo, le comete non escluse, far scrivere dalle medesime nello spettroscopio coi ben noti caratteri il nome delle sostanze, che danno alimento alla loro luce? Qui io sento con dispiacere quanto stringa il tempo, chè volentieri vi racconterei come i fisici tedeschi Bunsen e Kirchhoff per i primi lessero nello spettroscopio la composizione del Sole, com'essi dimostrarono esistere alla sua superficie, sotto forma di vapori ardenti, fra molte altre sostanze, l'idrogeno, il rame, il magnesio, il ferro, il sodio, il bario, ecc.; come per opera specialmente dell'italiano Secchi e dell'inglese Huggins queste indagini furono estese anche agli altri soli

che brillano nello spazio fuori del sistema planetario a distanze così grandi che neppure gli astronomi più riescono a misurarle: come fu riconosciuto, le nebulose essere ammassi di vapori luminosi composti principalmente d'idrogeno e d'azoto e come sia stato dimostrato in questa maniera, regnare nell'universo visibile una somiglianza di composizione chimica, altrettanto meravigliosa quanto inaspettata. In questa chimica celeste, come avete veduto, tutto si fonda sopra un esperimento semplice e sicuro, combinato con un'induzione a cui nessuno può ricusare il suo assentimento. Se vi è qui qualche cosa di meraviglioso, è l'industria degli uomini i quali hanno saputo costringere la natura a svelar segreti, che i nostri padri disperavano di poter mai apprendere.

Vediamo ora che cosa dice lo spettroscopio sulla composizione delle comete. Vi è in natura una classe di corpi o di sostanze, dai chimici chiamati *idrocarburi*, perchè risultano dalla combinazione dell'idrogeno e del carbone secondo determinate proporzioni. Appartengono ad esse una quantità di materie assai conosciute, per esempio, questo gas che ci illumina, il gas delle paludi e delle miniere, che infiammandosi è spesso causa di esplosioni sotterranee e di gravissimi accidenti: sono idrocarburi il petrolio, la benzina, l'olio di trementina, l'asfalto e molti altri corpi. Per una causa non ancora bene determinata, tutte queste sostanze hanno la proprietà, che per noi è un grave difetto, di scrivere tutte nello spettroscopio il medesimo nome, in altri termini, di dare tutte un sistema identico di righe luminose. Queste son distribuite in tre fasci principali ciascuno composto di molte righe vicinissime fra di loro, nell'uno tutte di color arranciato, nell'altro di color verde, nel terzo di color verde azzurro. Or tali appunto sono nei loro caratteri essenziali le righe prodotte nello spettroscopio dalla luce delle comete. Quell'atmosfera luminosa che circonda il nucleo e probabilmente anche la coda, sono vapori

splendenti di qualche corpo della classe degli idrocarburi o forse di una miscela di varî corpi della medesima classe, senza che si possa dir di quali. Non è esatto ciò che fu affermato, esser le comete immense fiaccole di petrolio: petrolio vi può essere, ma può anche essere un altro idrocarburo qualunque.

Questo è quanto si nota nelle comete ordinarie, che non si avvicinano troppo al Sole. Ma noi abbiamo veduto nel medesimo anno 1882 delle comete avvicinarsi al Sole molto più che non facciano comunemente questi astri e diventar luminose e visibili accanto ad esso. L'una è la nostra cometa, l'altra è quella detta di Wells che fu meno notata per la posizione più sfavorevole del suo corso. L'una e l'altra avendo subìto un grado di calore molto maggiore dell'ordinario, poterono in esse elevarsi in forma di vapori ardenti sostanze più refrattarie all'azione dei raggi solari. In queste due comete infatti per la prima volta furono riconosciute le due righe gialle del già più volte nominato sodio, del metallo cioè, che entra nella composizione della soda e di cui ogni giorno noi mangiamo una certa quantità sotto forma di sale da cucina. Egli è verosimile che oltre agli idrocarburi ed al sodio esistano nelle comete ancora altre materie: ciò si deduce dai colori molto varî con cui bruciano nella nostra atmosfera le stelle cadenti, le quali vi ho già detto esser null'altro che farina di comete disfatte. Secondo l'opinione di alcuni astronomi, anche i così detti *aeroliti*, cioè le pietre meteoriche, che talvolta cadono dal cielo in terra con grande fracasso, dovrebbero provenire dalle comete. Se questo è vero, le comete devono contenere anche le sostanze che d'ordinario s'incontrano in queste pietre, cioè ferro, nickel, silice, magnesia, allumina e molte altre ancora. E tanto basti sulla composizione chimica delle comete.

Voi desidererete adesso di sapere donde esse vengono, e quale è la loro origine. Il luogo donde vengono è manifesto dalla natura del loro corso. La

maggior parte di esse sta in quegli intervalli smisurati, che separano le altre città dell'universo, cioè i Soli, coi rispettivi sistemi planetari, dal nostro Sole e dal nostro sistema planetario: intervalli, che senza di esse forse sarebbero affatto vuoti. Sotto l'influsso dell'attrazione del Sole molte fra loro descrivono quelle lunghe ovali, di cui la cometa nostra ha dato un esempio, e ritornano ad intervalli, che si numerano per secoli. Alcune poche di esse, percorrono ovali più strette e tornano a periodi più brevi; tale, per esempio, la bella cometa, detta di Halley, della quale la prima apparizione bene accertata nella storia è dell'anno 12 prima di Cristo, che fu veduta per l'ultima volta nel 1835, e che rivedremo nel 1911: questa ritorna a periodi di circa 76 anni. Ma è probabile che molte altre comete non abbiano ritorni periodici determinati, e che dopo aver visitato il Sole una volta, rientrino per sempre nell'oscurità di quegli spazi da cui sono venute.

Riguardo alla loro origine due cose possiamo plausibilmente supporre. La prima è, che tale origine sia comune a tutte le comete: questo è chiaramente indicato dalla loro uniformità di composizione chimica, dall'essere cioè tutte composte della stessa materia. In secondo luogo si può dire, che questa origine l'abbiano avuta comune col Sole nostro; ed a siffatta opinione siamo condotti dal vedere che esse accompagnano il movimento cosmico, con cui il Sole si trasporta velocemente nello spazio. È dimostrato infatti, che il Sole non si giace immobile nel medesimo luogo del gran sistema stellato, ma si avanza verso una direzione fissa e determinata, avvicinandosi alle stelle, che risplendono nella costellazione di Ercole. In questo movimento esso è accompagnato da tutti i pianeti, i quali circolano intorno al Sole così esattamente e così regolarmente come se esso fosse immobile: a quel modo che non cessano di girare regolarmente le ruote del vostro orologio da tasca, ciascuna intorno al pro-

prio centro, anche quando camminate o siete in ferrovia. Ora anche le comete, pur percorrendo rispetto al Sole quelle straordinarie ovali paraboliche non cessano di accompagnarlo, trasportandosi col Sole le orbite da lor descritte. Ciò non potrebb'essere se le comete fin dalla loro origine non avessero avuto col Sole qualche relazione; e poichè esse ora accompagnano il gran luminare, è probabile che abbian dovuto essergli compagne fin dai primordî, della loro esistenza. Quest'argomento non si può sviluppare in forma rigorosa, che usando di considerazioni geometriche in questo luogo vietate. Ad ogni modo le comete si presentano a noi come monumenti di uno stato anteriore del nostro sistema planetario; monumenti, la cui retta interpretazione potrà giovarci a comprendere le ultime evoluzioni, per cui questo sistema è passato. Una delle loro funzioni nell'universo sembra poi questa: di disperdere continuamente materia nello spazio, controbilanciando così in parte l'attrazione dei grandi centri, come il Sole, i quali continuamente tendono a concentrare nuova materia intorno a loro.

Alcuno domanderà ancora: in questo movimento delle comete in tutte le direzioni e a tutte le possibili distanze dal Sole non potrebbe ravvisarsi il pericolo di un urto formidabile con altri corpi celesti, e specialmente colla Terra? Qui si deve distinguere se si tratta dell'incontro della Terra colla coda e coll'atmosfera di una cometa, oppure con un nucleo solido della medesima. Il primo incontro non ha nulla che possa incuter spavento: molte volte la Terra ha già dovuto attraversare code di comete, e molto probabilmente questo è avvenuto nel 1861. La straordinaria tenuità di queste appendici e la densità tanto maggiore dell'atmosfera terrestre ci permettono di considerare con indifferenza un simile evento, il quale al più potrebbe portare una lieve addizione di vapori d'un idrocarburo all'atmosfera stessa. Se invece per

un caso improbabilissimo, che forse non è ancora mai avvenuto, la Terra dovesse entrare una volta nella testa di una cometa e penetrare nelle atmosfere che la circondano, è indubitato che assai maggiore disordine ne avverrebbe alla cometa, che non alla Terra. È probabile che per noi tutto si risolverebbe in una splendida pioggia di stelle filanti accompagnata forse da numerosi aeroliti. Più serie conseguenze invece si potrebbero temere quando un nucleo solido della cometa urtasse la Terra. Noi non sappiamo, a dir vero, quali dimensioni possa avere un tal nucleo: tuttavia quando si riflette all'enorme quantità di stelle cadenti, che da un solo di tali nuclei può essere prodotta, è impossibile supporlo tanto piccolo, come alcuni vorrebbero: d'altra parte le poche osservazioni, che fino adesso possono considerarsi come riguardanti tali nuclei, indicano certamente dimensioni relativamente minime, e ad ogni modo dello stesso ordine di grandezza che quelle dei più piccoli asteroidi, o dei satelliti di Marte. Tutto ben considerato, io credo che anche in questo caso noi saremmo ancora ben lontani dalla distruzione totale dei viventi. Mettiamo pure che un tal nucleo abbia la massa del Monte Bianco o del Gaurisankar, od anche un diametro di 10 o 20 miglia, e ch'esso venga ad urtare la Terra colla massima velocità possibile in questo caso, che sarebbe di 72 chilometri per minuto secondo. L'effetto sarà press'a poco come quello di una palla da cannone contro una rupe di molti metri cubi di volume. Le regioni vicine all'urto saranno trattate senza dubbio assai duramente, e se la caduta si facesse nel mare, i lidi più vicini potrebbero facilmente essere spazzati da immense ondate: il resto del globo appena sentirebbe l'urto o forse non lo sentirebbe affatto. Diverso potrebbe essere il caso, se la Terra fosse, come da molti ancor si crede, una massa liquida rovente, ricoperta da una pellicola solida di non molta grossezza. Non è facile immaginare allora, quale effetto potrebbe

conseguire dalla perforazione di tale crosta, operata dal gigantesco proiettile. Ripeto però subito, a tranquillità di tutti, che un simile avvenimento, benchè sia fra le cose possibili, è estremamente improbabile che succeda, anche considerando un numero grande di secoli, e anche tenendo conto della moltitudine delle comete esistenti. Le dimensioni della Terra e dei nuclei cometari sono infatti così piccole rispetto alle distanze che separano fra loro i corpi celesti e rispetto agli spazi in cui essi possono aver libero movimento, che vi è luogo abbondante per il corso di tutti.

Quanto ho detto della Terra non si può più applicare al Sole, le cui dimensioni sono tanto più grandi, e che in certa guisa è preso di mira dalle comete nel loro movimento come una specie di bersaglio. La maggior parte di esse lo sbagliano di maggiore o minore quantità, alcune lo sbagliano di poco, come per esempio la nostra cometa del 1882. Nel 1680 e nel 1843 due altre grandi comete lo hanno sbagliato ancora di meno, essendosi avvicinate alla superficie del Sole ad una distanza di metà di quella a cui è arrivata la nostra, cioè di soli 20 diametri della Terra (1). Non vi è assolutamente alcuna ragione di supporre che una quarta cometa non possa addirittura percuotere il globo solare ed immergersi dentro all'oceano di vapori infuocati che lo compongono, senza più uscirne fuori. Io credo anzi probabile che tutti i giorni il Sole si inghiotta delle piccole comete; infatti nelle eclissi totali del Sole, quando la Luna coprendone il disco, permette di vedere quello che vi è intorno, si scorgono spesso certi strani pennacchi diversamente ricurvi, che paiono piantati nel Sole, e colla loro coda rivolta in fuori. Non pare assurdo il pensare che tali pennacchi siano parti di

---

(1) Anche la grande cometa australe del 1880 si è avvicinata al Sole più della nostra. Non è però ben sicuro che essa sia diversa dalla cometa del 1843, ed i calcoli del dott. Meyer dell'Osservatorio di Ginevra rendono anzi molto probabile l'identità delle due comete.

piccolissime comete, di cui il Sole assorbe il nucleo, respingendo da sè la coda per effetto della forza repulsiva, di cui più sopra ho parlato. Questa tuttavia per ora non si può considerare che come una congettura, alla quale è permesso di dare quel grado di fede che ognuno vuole.

Finalmente si può ancora dimandare: a che serve lo studio delle comete? Risponderò primieramente che esso serve a non più averne paura. Se questi astri hanno ormai svestito presso l'universale il loro carattere minaccioso, e sono diventati per noi oggetti di studio e di curiosità e di geniale trattenimento, lo dobbiamo a quei sommi uomini, che non dubitarono di prenderle ad esame come si fa d'un altro fenomeno qualsiasi della natura. Già alcuni antichi filosofi, e specialmente Seneca, avevano ragionato sulle comete con molto buon senso: ma la gloria di aver fatto nel loro studio il passo più importante è dovuta ad Isacco Newton, il quale sottoponendo a calcolo la grande cometa del 1680, fu il primo a dimostrare che esse sono composte di materia soggetta all'attrazione del Sole, come i pianeti; che il loro corso non è accidentale, ma dovuto a questa attrazione; e che le code si formano di vapori che il calore del Sole solleva dal nucleo.

Io del resto ho già accennato alla parte importante che le comete hanno nella struttura dell'universo, e non c'è dubbio che da esse possiamo aspettare molta luce sulla storia delle evoluzioni del sistema solare: storia sulla quale ben poco ora sappiamo di sicuro, e che è forse l'argomento più grandioso e più seducente in tutto il campo delle scienze fisiche.

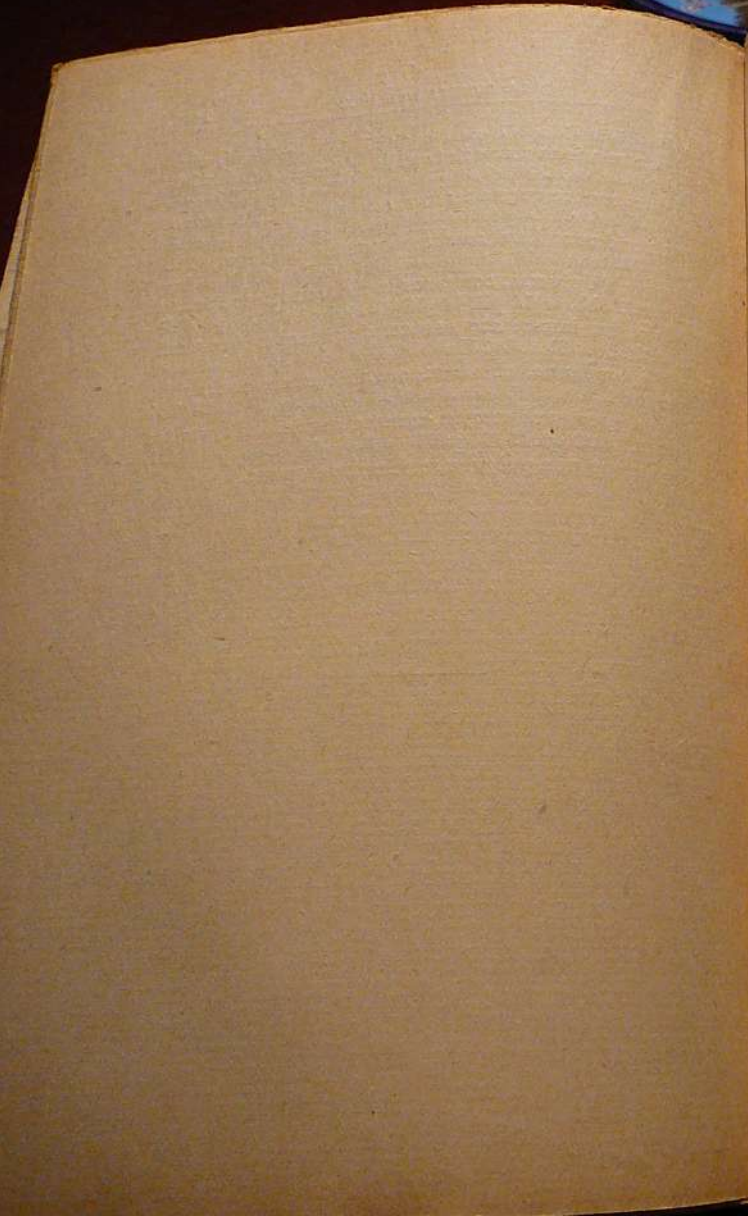
Non ignoro tuttavia, esistere persone, le quali dubitano dell'utilità di siffatti studî: che credono vanità l'occuparsi di cose tanto lontane, tanto difficili a comprendere, di tanto poco interesse per la maggior parte degli uomini: che riguardano tali soggetti come semplice trastullo di oziosi speculatori. Io credo che questi

abbiano torto a pensare così; e però anche a rischio di far qui la parte di Cicerone *pro domo sua*, io vi domanderò il permesso di aggiungere ancora, a modo di epilogo, alcune parole su questo argomento, e di far notare, come in ogni tempo l'Astronomia ha avuto un'importanza assai maggiore di quanto uno studio di oggetti puramente materiali sembri meritare; oserò dire, per quanto la parola possa sembrare superba, un influsso potente intellettuale e morale. Non intendo parlare già di quel falso influsso, che all'Astronomia, vera scienza, derivava in altre età dalla connessione colla sua bugiarda figliuola, l'Astrologia giudiziaria: connessione che essa oggi respingerebbe con isdegno. Fortunatamente son lontani i tempi, in cui un impostore qualunque, fingendo di conversare cogli astri, dei quali poco o nulla intendeva, dava norma agli atti più importanti di Filippo Maria Visconti, di Luigi XI, o di Wallenstein. Parlando qui dell'influsso pratico dell'Astronomia, voglio significare qualche cosa di più nobile e di più serio, l'influsso cioè della verità, che mette in fuga l'errore e la superstizione. La portata non solo speculativa, ma anche morale di questa scienza fu per esempio riconosciuta loro malgrado dai cittadini di Atene al tempo di Pericle, quando condannarono all'esilio il filosofo Anassagora, perchè insegnava che il Sole era nient'altro che una massa infuocata più grande del Peloponneso. Questa era una empia bestemmia contro il divino Helios, che nell'opinione popolare d'allora percorreva ogni giorno l'alto dei cieli sul suo carro luminoso, spettatore di tutte le azioni dei mortali, testimonio ed accusatore bene spesso invocato di tutte le loro malvagità. A questo concetto di un immenso valore etico e sociale, ma falso, Anassagora sostituiva un concetto materiale e prosaico, ma vero. Non discuto se tale sostituzione fosse opportuna od inopportuna, dato quel tempo, quel popolo, e quelle circostanze; constato il fatto dell'enorme significato pratico che in quel momento

aveva la semplice ed a noi così evidente nozione della materialità del Sole: significato che non isfuggì ai capi della democrazia ateniese, e che fu origine di quella condanna.

Un'opinione egualmente grande del largo influsso, che spesso anche indirettamente esercitano le dottrine astronomiche, sembra pure l'avessero quei prelati romani, che si resero celebri nel secolo XVII per la condanna delle dottrine copernicane e di Galileo. Quei prelati erano senza dubbio imbevuti delle idee del loro tempo, ma vi eran fra essi molti uomini dotti e valenti. Non si deve credere dunque, ch'essi fossero tanto semplici, da intimare così aspra guerra ai Copernicani, per la sola questione di due globi materiali, il Sole e la Terra, dei quali alcuni volevano si muovesse l'uno, ed altri l'altro. Con una istintiva sagacità essi videro che tale questione era connessa con altre di ben maggiore portata. Si trattava infatti nientemeno che di decidere, con un precedente che più tardi sarebbe stato sovente invocato, se si doveva negare o concedere a chiunque la facoltà di libero esame su qualunque questione; anche su quelle intorno alle quali parevano d'accordo tutte le autorità divine ed umane, e che si potevano credere da gran tempo assodate dall'universale consenso di tutti gli uomini e di tutti i secoli. Più d'uno di quei giudici credette probabilmente di rendere un gran servizio al mondo, col sopprimere violentemente la viva luce, che irradiava dalle pagine del gran filosofo toscano. Così avvenne, che gli uomini dell'Inquisizione si trovarono d'accordo coi capi della liberissima democrazia di Atene: e che l'Astronomia si trovò essere antesignana della libertà del pensiero; antesignana tanto più formidabile, quanto che i suoi argomenti fondati sull'osservazione e sulla geometria, sono irrefutabili per chi li considera con sincerità d'animo, e s'impongono a chi li vuole e a chi non li vuole.

Venendo ai tempi moderni, si nota una tendenza sempre più pronunciata a far intervenire l'Astronomia

nella discussione di certi capitalissimi problemi, che hanno relazione immediata collo sviluppo dei destini del genere umano nei secoli venturi. Non è qui il luogo di discutere, se questa tendenza sia giusta o falsa; sono cose di cui non è permesso parlar leggermente, e così per incidenza. Una cosa però tutti concedono, ed è che l'Astronomia, come scienza della costituzione fisica dell'Universo, come quella che fra tutte le scienze naturali abbraccia più larghe estensioni di tempo e di spazio, ha immediato contatto con molte questioni di altissima filosofia. Una scienza, che ha subìto così nobili condanne, che è capace di destare così nobili speranze, non può essere considerata come futile ed oziosa. Essa sarà sempre cara agli amici della verità; cara a tutti quelli, i quali anche oggi sono persuasi, che l'uomo non può vivere soltanto di pane.

VI.

ORBITE COMETARIE
CORRENTI COSMICHE, METEORITI

Dalla *Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali* (Pavia) — anno IX, dicembre 1908.

L'edizione presente tiene conto delle correzioni e modificazioni dell'autore agli esemplari degli estratti donati al senatore Celoria ed al sottoscritto e di quelle da lui fatte per la edizione francese curata dal prof. A. Fleurot ed apparsa nel *Bulletin Astronomique*, tome XXVII, 1910 — Paris.

L. G.

I.

Da qual regione dello spazio celeste scendono a noi le comete? Dobbiamo ricercarne l'origine fra le stelle, oppure nella parte più limitata che si suole considerare come esclusivo dominio del Sole? E la loro generazione ha avuto con quella del sistema solare qualche cosa di comune rispetto al tempo ed al luogo, oppure nacquero esse altrove ed in modo affatto indipendente? Sopra tali questioni lungo tempo si è disputato, specialmente dopo che W. Herschel e Laplace ebbero esposto il loro modo di vedere circa la cosmogonia nebulare. Successivamente le scoperte dei piccoli pianeti, i lavori fatti sulle comete periodiche a partire da Encke, l'investigazione delle traiettorie percorse dagli aeroliti e la loro analisi chimica; l'analisi spettrale delle comete e delle nebule, i grandi perfezionamenti apportati nelle osservazioni delle comete e nel metodo di calcolarne il corso; infine anche quel poco, che di certo oggi si può sapere circa la relazione fra le comete e le stelle cadenti; tutto questo negli ultimi cento anni ha fornito basi di fatto, ed accresciuto le nostre cognizioni sul posto che le comete occupano nella economia dell'universo, e somministrato indizi più o meno importanti circa la loro origine. Durante il secolo XIX tale origine è stata oggetto di molta discussione, ma non ancora definitivamente messa in chiaro con argomenti incontrastabili. Due

ipotesi principalmente hanno tenuto il campo. Nell'una si suppongono generate le comete entro al sistema solare, escludendo qualsiasi relazione col cielo stellato. A questa categoria apparteneva per esempio l'opinione proposta da Lagrange, il quale vedeva nelle comete il prodotto di eruzioni vulcaniche emesse con grande impeto dai più grossi pianeti. Altri speculatori di cosmogonia hanno tentato di dare alle comete una parte essenziale nella formazione del sistema solare, e considerarono le comete come una classe particolare di pianeti, non differenti dagli altri, che per alcuni caratteri. Quest'ipotesi parve acquistare molta probabilità dopo il 1850, quando da una parte la forte eccentricità e la forte inclinazione delle orbite di alcuni piccoli pianeti e dall'altra le mediocri eccentricità di alcune comete a breve periodo, la durata stessa di questo periodo poco diversa da quella intorno a cui si aggruppano le rivoluzioni dei piccoli pianeti, le inclinazioni sempre piccole e il moto sempre diretto di quelle comete fecero sperare che si potesse un giorno stabilire un ponte di passaggio fra comete e piccoli pianeti, e che la disparità di natura fra loro non fosse tanta, quanta la loro grande diversità d'aspetto e di costituzione fisica sembrerebbero indicare.

Non di meno ebbe sempre molti fautori la seconda delle due ipotesi, a cui si alludeva poc'anzi; l'ipotesi che l'origine delle comete sia da porsi negli spazi stellati e da riputarsi affatto indipendente da quella del sistema planetario. Questa, ch'era già stata oggetto delle speculazioni di Cartesio e di Newton, ha per sè il gran nome di Laplace, il quale escludeva le comete dalla sua cosmogonia planetaria solare, e le considerava come « des petites nébuleuses errantes de systèmes en systèmes solaires ». Più che il nome del suo illustre autore, ha ad essa procurato aderenti la sua intrinseca probabilità, e il trovarsi nel catalogo delle comete un certo numero di orbite iperboliche, o almeno credute tali. Come poteva aver relazione col

sistema solare un corpo che veniva a noi dalle profondità del cielo stellato seguendo un'orbita aperta? È vero, che in questo medesimo catalogo prevalgono di gran lunga in numero le ellissi molto allungate. Ma di questa forma d'orbita le perturbazioni inflitte alle comete dai grossi pianeti sono una causa ben nota e ben sicura. Basta invece, che di una sola cometa sia bene accertata la discesa verso di noi in un'orbita iperbolica, per creare all'ipotesi di un'origine solare delle comete una difficoltà quasi insuperabile. Il problema dell'origine delle comete essenzialmente è ridotto a decidere, se fra di esse ve ne sia alcuna discesa a noi in un'orbita aperta, e non per una ellisse più o meno perturbata nelle sue parti inferiori dalla azione dei grossi pianeti.

II.

Da principio si è creduto di poter risolvere il nodo della questione in modo abbastanza semplice coll'aiuto del catalogo delle comete. Escludendo pure da esso tutte le comete imperfettamente osservate e ritenendo soltanto quelle per cui si hanno copiose e buone osservazioni ben distribuite lungo un grande arco dell'orbita e che coi metodi moderni sono state assoggettate ad un calcolo rigoroso, rimane, fra molte orbite ellittiche, un piccol numero di comete per le quali l'eccentricità risulta alquanto maggiore di 1, benchè superi questo limite soltanto di piccolissime quantità. Per quasi tutte tale eccesso sopra 1 non arriva che a millesimi e a diecimillesimi dell'unità e si può dubitare se sorpassi quel limite di tolleranza che bisogna ammettere per tener conto degli inevitabili errori, sistematici e casuali, delle osservazioni. Per pochissime comete sembra che l'eccesso sia reale. Ma il problema dell'origine delle comete non si può dire che con que-

sto sia risoluto. Infatti gli elementi delle orbite anche più accuratamente elaborate, quali l'arte perfezionata dei calcolatori moderni le dà, non sono quantità definite in modo permanente ed assoluto. Non bisogna dimenticare che essi sono elementi *osculatori* per un determinato istante, e solo per questo istante il corso della cometa da essi definito coincide coll'orbita reale. Ma l'esistenza e la variabilità delle perturbazioni planetarie fa sì che questi elementi osculatori cambiano continuamente da un momento all'altro, e fra essi anche l'eccentricità, che per noi qui è il più importante. Può questa eccentricità in certi tempi essere maggiore di 1, in altri minore di 1, passando pel valore 1 in un istante intermedio; come è avvenuto nella cometa 1886 II, nella quale i calcoli del signor Thraen hanno dimostrato un passaggio dalla forma ellittica alla parabolica, e da questa alla iperbolica avvenuto nel 1882, circa quattro anni prima che la cometa arrivasse al perielio. La cometa è stata registrata nel catalogo come iperbolica, perchè tale era la sua orbita al momento del suo passaggio al perielio; non è men certo però, che essa è discesa a noi dagli spazi ultraplanetari descrivendo una ellisse di lunghissimo periodo e di eccentricità vicinissima ad 1, ma inferiore a questo limite per una piccolissima quantità (1). Adunque le eccentricità delle comete date dal catalogo di questi astri nulla ci dicono di positivo sulla natura delle orbite cometarie molto allungate, e sul loro corso in quelle parti delle orbite che stanno nelle maggiori distanze dal Sole.

---

(1) *Astronomische Nachrichten*, N. 3604, pag. 66.

III.

Il prof. E. Strömgren è stato il primo a metter in piena luce l'insufficienza delle informazioni che danno i cataloghi cometari circa la forma reale delle orbite (1) molto allungate e molto vicine alla parabola, ed ha aggiunto un'altra considerazione non meno importante. Nel calcolo delle orbite si suol considerare come centro di attrazione e come origine delle coordinate il Sole, come se il centro di questo fosse un punto fisso nello spazio. Ma ciò non è; astraendo dal moto proprio del Sole a traverso del sistema stellato, ciò che si deve qui considerare come immobile è il centro di gravità di tutto il sistema planetario, il quale centro, a cagione delle grandi masse dei pianeti esteriori (principalmente di Giove e di Saturno) sempre si trova fuori del centro del globo solare, anzi molto di frequente esce fuori da esso globo. Intorno al centro di gravità sopradetto il Sole descrive una curva assai complicata, di cui il lettore potrà agevolmente farsi un'idea (ed anche eseguirne in disegno la costruzione), usando dei noti principî di statica. Volendo pertanto descrivere l'orbita realmente percorsa dalla cometa nello spazio, bisogna alle coordinate della cometa rispetto al Sole (quali risultano dal calcolo usuale) aggiungere le coordinate del Sole rispetto al centro di gravità di tutto il sistema planetario. E similmente per ottenere ad ogni istante la vera velocità della cometa nella sua orbita, bisognerà riferirla al centro di gravità sopradetto; cioè alle componenti della velocità della cometa quali risultano dal calcolo ordinario bisognerà aggiungere

---

(1) Vedi due Memorie da lui presentate all'Accademia svedese delle scienze. *Ueber Cometenbahnen-Excentricitäten*, 1898 e 1899. Un ampio riassunto se ne trova nelle *Astronomische Nachrichten*, N. 3604.

le componenti omologhe della velocità che il Sole ha rispetto a quell'immobile centro di gravità. Allora soltanto avremo le coordinate di tutti i punti dell'orbita riferite ad un medesimo punto d'origine, e le velocità calcolate saranno comparabili fra di loro. Con le coordinate e le velocità così ridotte al centro di gravità si potrà, per un calcolo retrogrado dall'orbita osculatrice registrata nel catalogo delle comete risalire alle forme e posizioni vere che ha preso l'orbita riferita al centro di gravità nei tempi anteriori a quelli della osculazione; e quindi anche ottenere il valore dell'eccentricità per tanti anni addietro, quanti si vuole. Così retrocedendo, si arriverà ad una distanza sempre più grande dal Sole; e si verificherà allora questo fatto, che col crescere di tali distanze l'eccentricità va variando per gradi sempre minori (così pure gli altri elementi dell'orbita riferita al centro di gravità); e si finirà per arrivare al punto in cui essa non subisce più variazioni sensibili per maggiori distanze e si accosta sempre più ad un limite fisso. Di tal fatto è agevole assegnar la ragione. Accrescendosi sempre più le distanze della cometa dai corpi del sistema solare (Sole e pianeti), la risultante della attrazione di questi corpi sempre più convergerà verso quella, che darebbero tali corpi, se tutti fossero riuniti nel centro di gravità del sistema solare. Ciò è conseguenza di un noto teorema di Newton. Il moto della cometa, così ridotto a dipendere sempre più dall'attrazione di un solo centro, abbastanza presto non differirà più sensibilmente da una sezione conica, con elementi costanti e facili a determinare. Questa sarà l'orbita vera descritta dalla cometa nella parte del suo corso più lontana dal Sole; il limite verso cui converge l'eccentricità indicherà se la cometa è discesa a noi direttamente dallo spazio stellato, oppure se essa ritorna a noi dall'afelio di un'orbita chiusa.

Il Fabry si è in seguito occupato dello stesso problema, arrecando alla teoria dello Strömgren una mo-

dificazione essenziale. Egli ha dimostrato che la forma originaria dell'orbita percorsa dalla cometa 1890 II, la quale dai primi calcoli dello Strömgren pareva fosse stata iperbolica, è in realtà stata una ellisse. Lo Strömgren ha poi confermato i risultati del Fabry: con una speciale ricerca egli stesso è riuscito a stabilire un limite superiore della distanza afelia, che la cometa non avrà potuto oltrepassare prima di ritornare al Sole nel 1890 (1). Evidentemente è da desiderare che calcoli simili a questo siano fatti anche per altre comete, le quali offrano un materiale sufficiente di buone osservazioni, distribuite in grande numero sopra un lungo arco dell'orbita.

IV.

Il catalogo delle comete, nella sua forma attuale, ci presenta un numero considerevole di orbite ellittiche molto prossime alla parabola. Benchè, per i motivi indicati sopra, gli elementi di queste orbite non rappresentino bene la traiettoria delle comete nelle regioni più lontane da noi, si può dire tuttavia di molte di esse con certezza e d'un certo numero d'altre con qualche probabilità, che, anche dopo l'applicazione dei metodi dello Strömgren, l'orbita originaria sarà ancora una ellisse. Non si può dire lo stesso delle or-

---

(1) Vedi per i lavori dello Strömgren, *Astronomische Nachrichten*, N. 4033, 4034, 4058, per quelli del Fabry, il Tomo CXXXVIII dei *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, p 335 e il Tomo CXLI, p. 1077. Non è da dimenticare che, in queste conclusioni, si fa astrazione della resistenza possibile di un mezzo intrastellare, dell'effetto di un incontro probabile della cometa con masse meteoriche e della attrazione possibile di masse planetarie incognite esistenti negli spazi traversati dalla cometa. Per quanto si riferisce in particolare alla cometa 1890 II, è da rettificare tutto ciò che io aveva esposto nella edizione del 1908 di questo articolo fondandomi sui primi calcoli dello Strömgren.

bite iperboliche del catalogo. È vero che, per un piccolo numero di esse, l'eccentricità supera l'unità d'una quantità abbastanza forte da lasciar supporre che l'orbita originaria sia del pari iperbolica; ma in qualcuno di tali casi (per quanto io so) non è ben certo che tale eccesso non sia in gran parte dovuto agli errori di osservazione ed alla insufficienza dei calcoli. Si è fortemente indotti, per questo fatto, a domandarsi se esistono veramente orbite cometarie delle quali il carattere sia iperbolico all'origine, e se realmente qualche cometa ci è mai pervenuta dagli spazi stellari. Perchè, si dice, sono tanto numerosi, ed in molti casi tanto certi gli esempi d'orbite che deviano dalla parabola verso l'ellisse, mentre sono tanto rare e tanto poco certe le deviazioni verso l'iperbole?

Quanto a me, io non credo fondati questi dubbi. Data un'orbita esattamente parabolica, le probabilità che le azioni planetarie la portino a deviare verso l'ellisse o verso l'iperbole sono, in molti casi facili a determinare, più favorevoli all'iperbole che all'ellisse (1): ad ogni modo queste probabilità debbono essere riguardate come quantità del medesimo ordine. Sopra cento corpi entrati nel sistema solare secondo una parabola esatta, dovrebbero per conseguenza presentarsi a noi, sotto forma d'ellisse o d'iperbole, due numeri d'orbite abbastanza poco fra loro differenti. Ma ben differente sarà la probabilità che l'una o l'altra delle due classi di corpi diventi visibile ai nostri occhi. Le comete iperboliche non passano al perielio che una sol volta; le altre, per contro, quelle

(1) In quale proporzione orbite in origine paraboliche possono cambiarsi in ellissi od in iperboli per l'effetto delle azioni planetarie? Questo problema non sembra facile a risolversi in modo generale. Però se si considerano le più forti perturbazioni che si producono quando la cometa si avvicina a qualche pianeta al punto da entrare nella sua sfera d'attrazione predominante, si può dimostrare che il rapporto numerico non è in generale molto diverso dall'uguaglianza, una probabilità maggiore rimanendo sempre a favore dell'iperbole.

che descrivono un'orbita alquanto stabile, possono essere vedute un numero indefinito di volte. Supponiamo che durante ogni milione di anni discendano verso di noi 1000 comete descriventi in origine orbite paraboliche, e che, per l'azione deviatrice dei pianeti, 500 di esse prendano a descrivere ellissi con un periodo inferiore ad un milione di anni, mentre che le altre 500 prendano a descrivere iperboli. Dopo dieci milioni d'anni, durante l'undicesimo milione, noi avremo ancora l'apparizione di 500 comete iperboliche, nel mentre le apparizioni di comete ellittiche avranno raggiunto il numero di 5000 (1), non comprese le ripetizioni dell'arrivo d'una medesima cometa. La proporzione predominante delle orbite ellittiche nel catalogo delle comete è dunque ben naturale e non fornisce alcuna indicazione dalla quale si possa dedurre che le orbite ellittiche veramente esistenti siano più numerose di quelle iperboliche.

Per questo riguardo dunque, nulla ci prova che le comete siano all'origine state legate al sistema solare. Tuttavia, un certo numero di fatti riguardanti le comete a breve periodo sono stati addotti in favore di tale opinione. Ma gli argomenti di questa specie si eliminano facilmente, quando si consideri il modo col quale le comete suddette, al loro arrivo, si trovano catturate dall'azione dei grandi pianeti, particolarmente da quella di Giove e di Saturno, cioè introdotte

(1) Questo numero di 5000 suppone che le ellissi provenienti dalla azione perturbatrice dei pianeti siano tutte stabili e che per nessuna di esse sia possibile il ritorno alla forma parabolica od iperbolica. In realtà un tale ritorno deve poter verificarsi; ma per tenerne conto, sarebbe necessario complicare il problema con ipotesi troppo particolari. Il suo effetto generale sarà un incremento del numero delle orbite ellittiche, più lento che nel caso considerato, ma continuantesi sempre al di là d'ogni limite; il numero delle orbite iperboliche per altro restando, al contrario, costante durante ogni intervallo d'un milione d'anni. Io spero aver l'occasione di trattare altrove questo curioso problema.

nel sistema solare come membri più o meno permanenti di tal sistema. L'azione di Giove è così potente, che dalla forma parabolica può far nascere, si può dire, qualunque altra forma di sezione conica. Non sono quindi per nulla inesplicabili, nè improbabili quelle moderate eccentricità che si osservano nelle comete di breve periodo catturate da quel pianeta. Alcune di queste eccentricità scendono fino al limite di 0,40 al quale dall'altra parte si accostano i piccoli pianeti, probabilmente per effetto di cause ben diverse.

Quanto alla prevalente frequenza delle piccole inclinazioni nelle comete periodiche diremo, che tali inclinazioni non sono già piccole, perchè la cometa è periodica; ma la cometa è divenuta periodica, perchè la inclinazione prima dell'incontro col pianeta perturbatore era piccola, e tale si è mantenuta anche dopo. La cosa si comprende senz'altro osservando che fra tutte le comete prese in massa è più facile che avvenga l'incontro con un pianeta per quelle, la cui orbita è poco inclinata a quella del pianeta. E tale facilità è massima, quando i piani delle due orbite coincidono. In tal caso è chiaro, che la perturbazione si farà tutta entro il piano comune delle due orbite, e dentro questo piano giacerà pure l'orbita nuova, prodotta dalla perturbazione. Or qualche cosa di simile avverrà quando i piani delle due orbite non coincidano, ma sian fra loro poco inclinati. Quella componente della forza perturbatrice, che è perpendicolare al piano della vecchia orbita, sarà per lo più assai piccola relativamente alla componente che giace nel piano dell'orbita stessa; quindi lo sforzo del pianeta per far uscire la cometa dal piano dell'orbita ch'essa percorre sarà relativamente piccolo, la cometa non potrà molto allontanarsi da tal piano, conserverà dunque con poco divario quella piccola inclinazione che già prima aveva. Adunque la prevalenza delle piccole inclinazioni nelle comete a breve periodo non proviene già da questo, ch'elle partecipino alquanto della natura planetaria;

ma semplicemente da questo, che per le orbite poco
inclinate al piano generale del sistema solare le grandi
perturbazioni sono più frequenti, e quindi maggiori
le probabilità che da tali perturbazioni escano orbite
pure poco inclinate.

Da ultimo l'argomento dedotto dal moto, senza
eccezione diretto, delle 20 o 24 comete che fra tutte
hanno il più breve periodo, si risolve in modo analogo
a quello indicato rispetto alle inclinazioni. Quando il
moto è diretto e l'inclinazione non troppo grande, il
pianeta perturbatore e la cometa perturbata possono
camminare l'uno vicino all'altra per lunghissimo
tempo andando quasi di conserva: l'attrazione del pianeta,
prolungata per mesi e mesi a poca distanza, ha
tutto il tempo necessario per svolgere i suoi effetti
sempre nel medesimo senso, e può accadere che questi
raggiungano, col sommarsi, un valore enorme; il
corso della cometa ne può risultare fortemente accelerato
o fortemente ritardato. Al contrario le comete di
corso retrogrado quando passano molto vicino ad un
pianeta, prima s'avvicinano ad esso con grande velocità
relativa, poi fuggono da quello anche con grande
velocità; l'una e l'altra velocità potendo giungere fino
alla somma delle velocità dei due corpi. La intiera
perturbazione si divide allora in due porzioni di segno
contrario, o almeno tali che in parte si elidono
nei loro effetti. Inoltre il tempo in cui i due astri stanno
fra loro molto vicini è, a parità di circostanze, molto
più breve; la perturbazione dura poco, e difficilmente
può arrivare a produrre effetti molto grandi. Poco
quindi si muterà nel corso della cometa, e (salvo forse
casi eccezionali, che naturalmente lungo sarebbe discutere
appieno) il moto che era retrogrado, rimarrà
ancora retrogrado dopo l'avvicinamento dei due astri.

Così con semplici principî, intieramente rigorosi,
ed in ogni caso confermati dall'esperienza, si risolvono
le difficoltà desunte da certi caratteri delle comete
periodiche; ciò senza ricorrere ad analogie fitti-

zie coi piccoli pianeti e alla supposizione di corpi ibridi, quali sarebbero pianeti che hanno in parte le proprietà delle comete, e comete, che parteciperebbero a certi caratteri propri dei pianeti. Le due classi di corpi sono assolutamente distinte e non vi è tipo intermedio.

V.

Riteniamo dunque, come fondamento provvisorio per ulteriori deduzioni, che le comete, animate da un preesistente moto cosmico variamente modificato dalle attrazioni delle stelle a cui più si avvicinano per via, nell'avanzarsi verso la sfera d'attrazione del Sole (cioè in quella parte dello spazio celeste, dove questa attrazione diventa assolutamente preponderante) prendono una via, che sempre più si avvicina ad una sezione conica, di cui un foco è occupato dal Sole medesimo, e finisce per identificarsi con una tal curva anche prima di raggiungere quelle distanze, cui corrispondono parallassi di 10" o 20". Essendo la cometa a tanta distanza dal Sole, non potrà rendersi a noi visibile, se non col percorrere d'ordinario un'orbita allungatissima, cioè vicinissima alla parabola. Il movimento della cometa relativamente al Sole in quelle lontane regioni sarà necessariamente assai lento, la velocità sarà necessariamente una piccola frazione di quella velocità con cui la cometa passerà più tardi al perielio (1). Quegli altri corpi invece, che entreranno

(1) Nel moto parabolico la velocità è in ragione inversa della radice quadrata del raggio vettore: per ellissi e per iperboli molto allungate la velocità nelle grandi distanze è appena diversa da quella che ha luogo nella parabola. Ponendo che la cometa si trovi nello spazio alla distanza di 10000 volte il semigrand'asse dell'orbe terrestre (ciò che corrisponde ad una parallasse annua di circa 20") la sua velocità sarà 100 volte minore di quella, con cui la cometa traverserebbe l'orbita della Terra.

nella sfera d'attrazione del Sole con una velocità d'ordine planetario, non potranno percorrere orbita molto allungata, e continueranno la loro strada in iperboli di carattere assai deciso, con eccentricità notevolmente maggiore di 1. Essi non potranno avvicinarsi al Sole, a meno che la loro direzione non tenda direttamente verso il Sole stesso. Ma è questo un caso, che gli astronomi non hanno ancora avuto occasione di registrare nelle comete. Non si è mai veduta una cometa precipitarsi verso il Sole con velocità maggiore della parabolica, traversando il sistema planetario in una iperbole di eccentricità notevolmente maggiore di 1.

Tutto questo riguarda il moto della cometa relativamente al Sole, anzi relativamente al centro di gravità del sistema solare (1). Ma noi sappiamo che questo centro si muove nello spazio celeste relativamente alle stelle, con velocità d'ordine comparabile alle velocità planetarie. Se le comete nelle lontanissime parti delle loro orbite non avessero alcun moto rispetto al Sole, esse dovrebbero muoversi in linee parallele a quella descritta dal Sole nello spazio stellato, con uguale velocità. Sole e comete formerebbero un insieme a parte fra gli astri del firmamento, un sistema mosso di moto comune e di figura invariabile. La cosa non è esattamente così; le comete, quando sono molto lontane dal Sole hanno, oltre al moto comune con questo, ciascuna il suo piccolo moto peculiare, come è stato detto. Componendo l'un moto coll'altro, si vedrà che il loro corso rispetto alle stelle è rappresentato da un fascio di linee quasi parallele fra loro, e parallele al moto proprio del Sole, descritte con velocità quasi uguale a quella del Sole. Il moto, diremo così, cosmico del Sole e il moto cosmico delle comete sono quasi uguali e quasi paralleli. Tutto questo ci porta a con-

---

(1) Noi diciamo per brevità, *relativamente al Sole:* è evidente che questa piccola inesattezza non può esser di alcuna conseguenza.

siderare l'insieme delle comete come formante una immensa corrente cosmica, paragonabile per certi riguardi alle correnti meteoriche le quali popolano il nostro sistema planetario, ma aventi dimensioni incomparabilmente più grandi. Il Sole sarebbe uno dei corpi di questa corrente. Pur seguendo gli altri corpi della corrente nel loro moto comune a traverso lo spazio celeste, la sua massa preponderante produrrà nei corpi che si trovano più vicini a lui delle deviazioni più o meno sensibili costringendoli a descrivere intorno al proprio centro delle iperboli temporarie o delle ellissi molto allungate e sempre più o meno instabili.

Queste considerazioni, che sono d'importanza capitale per la discussione del presente argomento, non sono nuove: ad esse erano già arrivati gli astronomi Littrow ed Hornstein più di mezzo secolo fa: sopra di esse avevano fondato assai notabili congetture, di cui fra poco daremo conto (1).

VI.

Il fatto di questo comune moto del Sole e delle comete a traverso dello spazio stellato può dar luogo a diverse interpretazioni, secondo che si ammette per le comete una od altra origine. Se, come ad alcuno piace, supponiamo che lo sciame da esse formato sia un sistema indipendente dagli altri corpi dell'universo, e le comete generate nel sistema solare coi pianeti e col Sole; le dimensioni dello sciame non saranno compara-

---

(1) Un breve e lucido riassunto delle loro idee è dato da LITTROW nella sua bella opera di Astronomia popolare intitolata *Die Wunder des Himmels*. Io tengo sott'occhio la quinta edizione, anno 1866. Vedi in questa le pagine 726-727.

bili alle distanze stellari, e non potranno essere che una frazione abbastanza piccola dell'intervallo, che separa il Sole dalle stelle più vicine. Le orbite delle comete saranno, di regola, tutte ellittiche. Soltanto di quando in quando una di tali ellissi potrebbe, per l'azione di alcuno dei pianeti maggiori, esser trasformata in iperbole; quella cometa sarà espulsa dal sistema e ne uscirà a percorrer tutta sola lo spazio celeste. Ma il contrario fenomeno, cioè l'ammissione di una nuova cometa nel sistema non potrà aver luogo, perchè nell'ipotesi adottata di un'origine solare non si suppongono esistere comete nello spazio stellato circostante. Entro il sistema, e probabilmente in posizione non molto eccentrica sarà collocato il Sole, foco comune di tutte le lunghe ellissi cometarie; i grandi assi di queste si protenderanno nelle direzioni opposte a quelle dei loro perieli, le quali sembrano (per quanto dalle ricerche di varî astronomi si può ricavare) distribuite intorno al Sole con una certa uniformità, senza disuguaglianze di carattere evidente e regolare. Il Sole è dunque nell'interno dello sciame, e tutta la disposizione può dare un'immagine simile a quelle, che W. Herschel chiamava *stelle nebulose*. E nello sciame delle comete, così concepito come un'aureola circondante il globo solare, si è pur creduto da alcuno di ravvisare gli avanzi (grandemente condensati) della nebula, da cui Laplace ha fatto nascere il sistema solare.

L'ipotesi qui descritta ha il vantaggio di render conto di molti fatti, e meglio d'ogni altra si potrebbe conciliare colla grande uniformità che presentano le comete circa il loro aspetto, i loro fenomeni di sviluppo sotto l'azione del Sole, ed i loro spettri. Ma i suoi fautori ed illustratori sono costretti a negare l'esistenza di orbite iperboliche.

VII.

I già nominati astronomi Littrow ed Hornstein hanno concepito lo sciame delle comete non come semplice corteggio di un astro isolato, ma come un complesso assai più grandioso di corpi sparsi in tutto lo spazio celeste fra stella e stella, fino a distanze d'ordine cosmico. Come il Sole (dice Littrow), così anche le altre stelle hanno un moto proprio nello spazio e tutto sembra indicare che l'intiero cielo stellato colla Via Lattea formi un solo immenso sistema, di cui le parti circolano intorno al comun centro di gravità. In questa circolazione il Sole e le stelle vicine avranno un moto poco differente in velocità ed in direzione. Il moto delle comete relativamente al Sole essendo nullo o quasi, ne dedurremo che esse accompagnano il Sole e le dette stelle, prendendo parte alla circolazione suddetta. Se ciò non fosse ed avessero ciascuna un moto peculiare diverso da quella circolazione, le loro orbite rispetto al Sole non avrebbero il tipo della parabola, ma invece quello di iperboli notevolmente pronunziate. Sembra dunque che le comete in generale siano parti essenziali non già del sistema solare, ma anzi del gran sistema stellato, a cui il Sole appartiene, e che ad esse sia attribuito l'ufficio di popolare gli spazi interstellari, che a noi sembrano vuoti.

Questa ardita e bene concatenata serie di deduzioni potrebbe forse essere considerata come soddisfacente, ove non fosse appoggiata alla base poco sicura di una circolazione generale del sistema stellato intorno ad un centro. È vero, che l'aspetto generale di un gran numero di nebule e forse anche la disposizione stessa della Via Lattea (di cui però noi non abbiamo una giusta prospettiva), pare conducano con qualche apparenza di plausibilità al concetto di un moto vorti-

coso del sistema galattico nel suo stato originario. Ma lo studio dei moti propri non ha confermato questa idea, almeno per quanto concerne le stelle più vicine a noi, o almeno per quelle che più facilmente si vedono ad occhio nudo. Anche la teoria di Maedler, nella quale si supponeva una circolazione generale delle stelle di Bradley intorno al gruppo delle Pleiadi, non ha incontrato favore presso gli astronomi posteriori. Non è dunque sotto questa forma, che le conclusioni di Littrow e di Hornstein potrebbero essere accettate; ed è giusto dire, che essi stessi non le han proposte che come materia degna di qualche ulteriore studio. Ma grazie ai moderni progressi dell'Astronomia stellare noi sappiamo oggi intorno ai moti propri delle stelle qualche cosa, che Littrow ed Hornstein non potevano immaginare; la loro teoria, combinata con nuovi risultati d'osservazione, può essere appoggiata a base più solida ed acquistare così un grado maggiore di probabilità.

VIII.

Fino a pochi anni fa il moto del Sole nello spazio celeste fu sempre calcolato come moto relativo del medesimo rispetto all'insieme delle stelle prese come fondamento della ricerca; ponendo come ipotesi, che una volta corretti i movimenti delle singole stelle per l'effetto dello spostarsi del Sole (cioè pel moto parallattico), nei moti *peculiari* residui di esse nulla più rimanesse di sistematico e di regolare; che insomma questi moti peculiari si presentassero distribuiti come a caso senza alcuna legge. Ma negli ultimi tempi si è riconosciuto che tale ipotesi è falsa. Dopo alcuni notabili tentativi del signor Kobold, nel 1905 il signor Kapteyn ha provato, e dopo di lui i signori Eddington e Dyson hanno confermato che nelle regioni celesti a noi più vicine (o diciamo più esattamente, nelle

regioni celesti occupate dalle stelle più visibili sino alla 8ª e alla 9ª grandezza) le direzioni dei movimenti (riferiti a quello del Sole) non sono distribuite a caso nello spazio, ma sono agglomerate con assai notabile prevalenza intorno a due direzioni principali, a cui forse si potrà aggiungere una terza, pel momento non ancora definita con piena evidenza. Sono dunque due sciami di stelle, compenetrantisi nel medesimo spazio: dei quali l'uno segue la direzione segnata da $A.R = 90^o$, Decl. = — 12°, l'altro segue la direzione $A.R = 263^o$, Decl. = — 60° secondo l'ultima determinazione fatta dal signor Dyson (1).

I due sciami sembrano ugualmente numerosi in tutte le parti della sfera stellata. Il fenomeno è una imitazione geometrica perfetta di quello assai noto, che presentano le stelle cadenti. I due punti del cielo opposti diametralmente a quelli poc'anzi indicati figurano i radianti delle stelle cadenti, il moto del sistema solare è surrogato a quello della Terra nella sua orbita, ai moti quasi istantanei delle stelle cadenti il lentissimo progredire delle stelle vere dall'una all'altra costellazione. Anche qui le radiazioni sono imperfette forse più che negli sciami meteorici; e a determinare i punti radianti non bastano i rozzi metodi finora usati per le stelle cadenti. Avuto riguardo a queste, benchè imperfette, analogie, chiamaremo *correnti stellari* i complessi di stelle dotate di moto comune, messi in evidenza da Kapteyn, sebbene della loro vera disposizione nello spazio ancor poco sia noto, e soprattutto quale proporzione abbiano le loro dimensioni secondo il senso del movimento, alle dimensioni trasversali (2).

---

(1) Calcolata da Dyson combinando i suoi risultati con quelli già prima ottenuti da Kapteyn e da Eddington. V. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, vol. XXVIII, part. III, 1908.

(2) *Star drift*, o *drifting of the stars* è l'espressione inglese, alla quale confesso di non aver saputo trovare qualche cosa di equivalente in italiano.

Che che sia di questo, ciascuna corrente dovrà esser considerata come un sistema mobile dotato di velocità variabile in modo continuo da un punto ad un altro punto vicino, sotto l'influsso di forze varianti pure in egual modo; ciò che si esprime dicendo, che forze e velocità sono *funzioni delle coordinate*. Un tal insieme di corpi non si è formato a caso, ma ha dovuto essere il risultato di evoluzioni variabili quanto si vuole col tempo, ma sempre identiche, o quasi, per due corpi fra loro vicini. Noi vediamo, di tutti i corpi della corrente, soltanto quella parte che risplende di luce sufficiente; ma abbiamo forti argomenti in mano per credere, che sia molto maggiore il numero di quelli, i quali, o per esser affatto oscuri o di luce insufficiente, od anche per esser troppo piccoli rimarranno per noi sempre invisibili. Ed è troppo naturale pensare, che il moto sistematico non sia limitato soltanto ai corpi che si vedono, ma comprenda anche i corpi minori che sono negli intervalli. Avremo dunque anche qui le correnti di corpi, che Littrow ed Hornstein supponevano riempire lo spazio apparentemente vuoto fra i corpi maggiori, partecipando al moto di questi. Nulla poi sarà cambiato, quando invece di una corrente ne porremo due o più. Gli intervalli fra un corpo e l'altro essendo immensi rispetto alle dimensioni loro, le correnti potranno intersecarsi liberamente nel vuoto cosmico. Soltanto avverrà che l'attrazione subita da uno qualunque dei corpi per parte della materia formante le due o più correnti supposte andrà mutando lentamente l'orbita di quello, e così di tutti gli altri. Essendo però la forza attrattiva (o se si vuole, il potenziale di tutto l'insieme dei corpi) una funzione delle coordinate, se il sistema di ciascuna corrente era continuo in principio, rimarrà pure continuo durante la sua deformazione progressiva. Soltanto quando due corpi si avvicineranno al di là di certi limiti od anche si urteranno, potrà nascere qualche movimento fuori dell'ordinario in uno di essi o in tutti e due, o qualche

catastrofe parziale che nulla toglierà delle proprietà essenziali della corrente o delle correnti. Del resto tutte queste variazioni e deformazioni succedono con una straordinaria lentezza. Il loro effetto non è riuscito ancora a distruggere totalmente le tracce dell'unità primitiva di queste immense formazioni, malgrado che esse esistano e si vadano trasformando da un tempo incalcolabile; e queste tracce dureranno un altro tempo immenso, prima che quella unità diventi irreconoscibile e presenti agli astronomi di un lontano avvenire l'immagine del caos.

IX.

Oltre alle due correnti di Kapteyn, delle quali ciascuna comprende un gran numero di stelle, una terza corrente esiste, della quale però noi non possiamo avere una cognizione così completa, come delle altre. È lo sciame delle comete, il quale accompagna il sistema solare nel suo moto di traslazione, come sopra si è dimostrato. In questa corrente conosciamo però soltanto una stella, che è il Sole. Se altre ne esistono, per ora è oggetto di pura speculazione. Ma se esistono, dovranno facilmente manifestarsi con questo: che il loro moto relativamente al Sole è nullo, o almeno assai piccolo in confronto degli altri movimenti stellari. Non solo le loro posizioni apparenti sulla sfera celeste saranno invariabili, o quasi; ma il moto radiale dovrà apparir nullo anche allo spettroscopio. Di tali stelle, che si muovono parallelamente al moto del Sole con uguale velocità forse qualche caso già fin d'ora si può additare, per esempio le stelle registrate nella piccola tabella qui presso; il cui movimento radiale ho segnato secondo le osservazioni di Vogel e di Scheiner, e i movimenti apparenti in *A.R.* e Decl. ho tratto dal Catalogo Bradleyano di Auwers.

Nome della stella	Moto radiale in chilometri	Moto trasversale in A.R.	apparente in Declin.
γ *Cassiopeiae*	—4	$+0^{s}.0013$	$-0''.015$
β *Persei* (Algol) ..	—2	—0.0017	+0.010
δ *Orionis*	+1	—0.0014	—0.005
α *Pegasi*	+1	—0.0028	—0.030
γ *Cygni*	—6	—0.0003	+0.003

Non è da negare tuttavia, che il fatto della piccolezza di questi movimenti relativamente al Sole può essere interpretato diversamente, e può risultare anche da combinazioni fortuite o dipendere da qualche altra causa, per esempio da una distanza molto grande, della stella considerata, unita ad un moto radiale nullo o quasi nullo rispetto a noi. La vera interpretazione non potrà esserci data che da osservazioni molto esatte dei movimenti radiali, estesa al maggior numero di stelle che sarà possibile.

Nelle determinazioni finora eseguite del così detto *movimento proprio del Sole nello spazio*, ciò che risultava era propriamente il moto del Sole relativamente all'insieme delle stelle impiegate nel calcolo; concetto piuttosto vago, con cui si voleva indicare, che nei moti peculiari residui non doveva esservi alcuna preponderanza piuttosto in una direzione che in un'altra, piuttosto in una regione del cielo che in un'altra. Ma spesso l'apice del movimento solare e la velocità cosmica del sole risultanti da questi calcoli furono considerati come qualche cosa di assoluto; ciò che contribuì a divulgare idee inesatte sull'argomento. I nuovi concetti di Kapteyn rendono anche più evidente a tutti, che se esiste una direzione e una velocità nel moto del Sole, queste non possono essere determinate con osservazioni di moto relativo, quali sono tutte quelle che noi possiamo fare nella mobile sede entro cui ci troviamo confinati. Sarà forse possibile un giorno assegnare sulla sfera stellata il punto, verso cui il Sole real-

mente si muove: ma si dovrà farlo partendo da altri principi. Quanto alla velocità di questo moto, dubito che vi si possa mai pervenire, se non quando sia dato l'*ubi consistam*, il punto assolutamente immobile dello spazio.

X.

I corpi che formano le nostre correnti, grandi o piccoli che siano, potranno in generale muoversi liberamente (salvo qualche rarissimo urto), malgrado la reciproca compenetrazione delle medesime; in ogni punto dello spazio da esse occupato potrà arrivare un corpo appartenente a qualunque di esse. Così nello spazio planetario che circonda il Sole potranno penetrare corpi appartenenti alla corrente di cui fa parte il Sole (corrente che designeremo per brevità con S) o ad una delle due correnti di Kapteyn (le quali designeremo con K_1 e K_2). Penetrando un simile corpo nella sfera d'attrazione preponderante del Sole, nasceranno fenomeni diversi, secondo che quel corpo appartiene all'una, o all'altra, od alla terza delle correnti S K_1 K_2.

Ciò che succede se il corpo appartiene alla corrente S già è stato indicato nelle pagine precedenti. Il corpo è una cometa. Se la velocità relativa al Sole è assolutamente nulla, la cometa cadrà nel Sole e vi s'immergerà. Se la velocità relativa al Sole è piccola, il corpo si avvicinerà al Sole in una sezione conica allungatissima; tutte le comete vedute finora e calcolate come tali appartengono a questa classe, e sotto l'influsso del calore solare e per l'impulso della sua radiazione luminosa producono quegli stupendi fenomeni che tutti sanno. Quando la velocità relativa al Sole, pur rimanendo sempre piccola, sorpassa un certo limite, l'orbita può arrivare ad esser un'iperbole un po' di-

versa dalla parabola, la distanza perielia potrà esser maggiore che nel caso precedente, e la cometa non esser visibile perchè non si avvicina abbastanza al gran luminare. Tutte le comete che passano al perielio al di là dell'orbita di Giove sono in queste condizioni.

Consideriamo ora quello che avviene per i corpi di una delle correnti di Kapteyn, quando penetrano nell'interno del nostro sistema planetario; per facilità di dimostrazione supporremo una corrente geometricamente regolare, di cui tutti i corpi entrino nella sfera d'azione del Sole nostro con velocità cosmiche esattamente uguali e parallele. Le velocità di questi corpi relativamente al Sole saranno anche uguali e parallele; e saranno velocità d'ordine planetario (1). Sotto l'azione attrattiva del Sole quei corpi allora descriveranno sezioni coniche intorno ad esso come foco. La velocità che ai limiti della sfera d'azione solare era già dell'ordine delle velocità planetarie, si verrà fortemente accelerando durante la caduta. Le traiettorie, che da principio erano approssimativamente rettilinee e parallele, s'infletteranno volgendo la loro concavità verso il Sole. Il loro insieme sarà un fascio d'iperboli fortemente pronunziate e dissimili dalla parabola. Gli asintoti dei rami di iperbole, per cui si farà la caduta verso il Sole, saran tutti paralleli fra di loro, e paralleli alla direzione iniziale comune, che i corpi avevano entrando nella sfera d'attrazione del Sole.

Arriviamo dunque a questa conclusione: che quando un corpo appartenente ad una corrente come

---

(1) Una stella che abbia una parallasse di $0'',1$ e di cui il moto proprio annuo sottenda nell'occhio l'angolo $0'',5$, perpendicolarmente al raggio visuale, percorre ogni anno una distanza uguale a 5 volte il raggio dell'orbe terrestre. La Terra nel medesimo tempo percorre una lunghezza uguale alla circonferenza della sua orbita, che è di 6,28 di tali raggi. Ora, nel cielo stellato movimenti apparenti di $0'',5$, e parallassi di $0'',1$, son cose non infrequenti. Perciò possiamo dire, che le velocità stellari e le velocità planetarie sono del medesimo ordine di grandezza.

quelle di Kapteyn (sia esso lucente od oscuro), penetra nell'interno del sistema planetario, esso descrive intorno al Sole come foco un'iperbole molto diversa dalla parabola. Un tal corpo potrebbe anche essere una stella della corrente. Non si conosce però alcuna stella, che abbia dato luogo ad un simile fatto, il quale potrebbe aver gravissime conseguenze, e ad ogni modo dev'essere estremamente raro. Ma di corpi oscuri, percorrenti lo spazio circumsolare con grande velocità in orbite fortemente iperboliche esiste un grandissimo numero, e questi sono gli aeroliti o meteoriti, dei quali l'origine tanto discussa ora si fa palese. La grande velocità con cui essi sogliono incontrar la Terra ne aveva già manifestato l'origine cosmica; l'analisi precedente dà un'idea del modo con cui essi sono raccolti in sistemi, e come arrivano a noi. Gli aeroliti sono i corpi minori delle correnti di Kapteyn.

XI.

Il corso dei meteoriti nello spazio planetario non si fa dunque a caso, ma secondo certe regole. Oltre a quanto si è detto circa la forma dell'orbita e la direzione comune degli asintoti, possiamo ancora aggiungere, che le velocità, con cui i diversi corpi di una medesima corrente percorrono lo spazio planetario al momento di toccare la Terra, sono quasi uguali; e sarebbero uguali affatto se l'orbita della Terra intorno al Sole fosse esattamente circolare. Ma per correnti stellari differenti questa uguaglianza non ha più necessariamente luogo. Quindi tali velocità possono considerarsi come segni distintivi delle varie correnti, non meno che le direzioni dei già nominati asintoti. Questa velocità tuttavia non è quella, con cui il meteorite incontra la Terra. L'incontro è determinato

in velocità ed in direzione dal moto relativo dei due corpi, risultante dalla composizione dei loro moti orbitali. Con questa direzione e con questa velocità l'osservatore terrestre vedrebbe giungere il meteorite, se la caduta si facesse nel vuoto. La presenza dell'atmosfera complica grandemente tutto il fenomeno. Essa può modificare notevolmente la direzione della caduta, quando il meteorite sia di figura molto irregolare: e sempre rallenta in grande misura la velocità finale. Da ciò segue che le iperboli calcolate sulle osservazioni dei meteoriti generalmente risultano sempre più vicine alla parabola, di quanto realmente dovrebbero essere. Per questa circostanza il carattere iperbolico delle orbite descritte dai meteoriti intorno al Sole è grandemente confermato, ed in alcuni casi portato alla completa certezza.

Non solo la caduta dei meteoriti verso il Sole, ma anche il loro precipitarsi sulla Terra è soggetto a norme geometriche che è interessante conoscere: esse dipendono dalla combinazione del moto della Terra nella sua ellisse col moto del meteorite nella sua iperbole intorno al Sole. Ogni giorno dell'anno si possono assegnare sulla sfera celeste due punti, dai quali soltanto possono arrivare a noi meteoriti appartenenti ad una data corrente. Di questi punti uno è al Nord dell'eclittica, l'altro al Sud. Seguendo le loro posizioni variabili di giorno in giorno, nascono due curve continue e chiuse, una per ciascuno dei due emisferi in cui il cielo è diviso dall'eclittica; in un anno siderale ciascuno dei due punti percorre tutta intiera la propria curva. Ognuna delle correnti di Kapteyn ha la propria coppia di punti percorrenti la propria coppia di curve. Si comprende facilmente quanta importanza potrebbe avere la verificazione di tali effetti col mezzo delle osservazioni. Per ora non possiamo considerarli che come conseguenze geometriche della supposizione posta in principio, che nelle correnti di Kapteyn alle stelle che le compongono siano frammisti in gran

copia corpi oscuri, che le accompagnano nella loro corsa cosmica. L'identificazione di questi corpi oscuri coi meteoriti si presenta allora naturalmente da sè.

XII.

Ad un'altra circostanza conviene anche por mente; ed è la comparazione fra le comete ed i meteoriti sotto il riguardo della massa e della costituzione fisica e chimica. Per quanto concerne la prima, nulla possiamo dire di sicuro circa la massa delle comete. Certamente si può dire in generale che la loro massa è sempre assai piccola; i nuclei di certe comete sono invisibili affatto o son rappresentati nei grandi telescopi come stelline dei più alti ordini di grandezza. Eppure essi esistono anche quando da noi non si riesce a vederli: altrimenti la chioma od aureola circostante si dissolverebbe nello spazio. Ma dubito veramente se si possa dire, come più volte si è fatto, che una grande e luminosa cometa possa contenere non più materia, che una massa di pochi chilogrammi di peso. Le masse dei meteoriti sappiamo di qual ordine sono; pochi finora se ne sono veduti, che pesino più di 100 chilogrammi. Ma il loro numero, a giudicare da quelli che la Terra raccoglie sulla propria via (e di questi una ben piccola parte giunge a nostra notizia!), dev'essere stragrande. Però, siccome a noi ne arrivan pochissimi, ed in sistemi di questo genere i corpi minori sogliono essere sempre numerosissimi, e pochi quelli di grandezza eccezionale, potrebbe darsi che esistessero meteoriti di molti metri cubi senza che noi avessimo il modo di saperlo.

Rispetto alla costituzione fisica i meteoriti, come è noto, formano una scala, che dal ferro nikelifero quasi puro va a masse quasi totalmente lapidee, dove

predominano i silicati. Una separazione netta in classi, la quale permetta di distinguere se un dato meteorite proviene piuttosto da una corrente che da un'altra, non è riconosciuta dai mineralogisti. Ma è possibile che i meteoriti dove predomina il ferro appartengano ad una delle correnti di Kapteyn, all'altra quelli dove prevale la composizione lapidea. Anche la corrente solare può essere che contenga meteoriti descriventi le loro parabole intorno al gran luminare: ma della loro esistenza nulla siamo in grado di affermare o di negare. Invece pare ben assodato che nelle correnti K_1 K_2 non esistan comete; e questo costituirebbe, a quanto pare, una differenza capitale fra la corrente solare e le correnti di Kapteyn. Se in queste correnti vi fossero comete. potremmo aspettare ne venisse a noi qualcuna, sotto forma di aerolito nebuloso e caudato, visibile anche fuori dell'atmosfera terrestre e aggirantesi intorno al Sole nella sua iperbole assai pronunziata. Questa differenza notevole fra la corrente solare S così ricca di comete, e le correnti K_1 K_2 che ne sembrano assolutamente prive, non è tale tuttavia, che se ne debba inferire una totale diversità di natura fra comete e meteoriti. Anzi esperienze fatte a Postdam (1) danno a vedere che le due specie di gas soliti a mostrarsi nello spettro delle comete (idrocarburi ed ossido di carbonio) sono contenuti allo stato di occlusione anche nei meteoriti. Infatti scaldando fortemente un pezzo di meteorite entro un tubo di Geissler e facendo per questo passare la corrente elettrica, Vogel ottenne uno spettro risultante dalla sovrapposizione degli spettri dei due suddetti gas. Le comete adunque ed i meteoriti sarebbero corpi di natura identica o poco differente, benchè di apparenza assai diversa nelle loro manifestazioni. I meteoriti sarebbero comete di altri Soli, che sotto

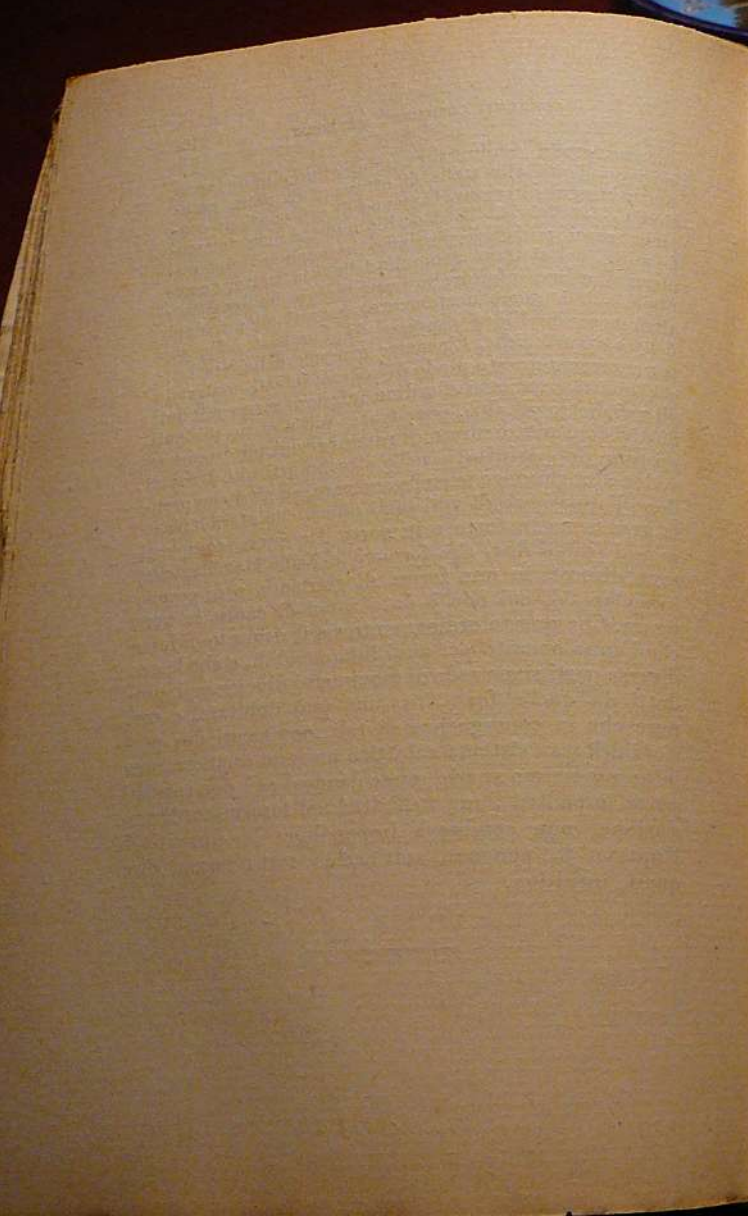
---

(1) SCHEINER, *Populäre Astrophysik*, Berlin, 1908, pag. 536.

l'azione riscaldante di questi avrebbero già, per frequenti e grandi emissioni di chiome e di code, perduto quasi tutto o tutto, il loro contenuto gasoso; mentre per converso il nostro Sole non avrebbe ancora estratto da tutte le sue comete e disperso nello spazio tutto il gas in esse esistente da principio. Insomma comete e meteoriti potrebbero non differire fra loro, che pel diverso stadio in cui sarebbero giunti, della loro evoluzione.

XIII.

Resta che tentiamo di farci un'idea plausibile del modo con cui abbia potuto prodursi nel cielo stellato uno stato di cose simile a quello che è stato messo in evidenza dal professor Kapteyn. A ciò si presta in forma assai naturale e assai facile, ed in sè non improbabile, la teoria nebulare. Come una massa gasosa molto rara, diffusa sopra un grandissimo spazio possa, in virtù delle azioni fisiche intrinseche, esser coagulata in una moltitudine di corpi separati gli uni dagli altri, e tuttavia formanti un sistema dotato di figura e di moto proprio, è facile concepire, almeno in modo generale, seguendo le idee di W. Herschel e di Laplace. Dati due o più di tali sistemi, che dalle velocità rispettive siano condotti ad occupare la medesima regione dello spazio, avremo un insieme di moti molto vari coesistenti in quella regione. Le attrazioni reciproche fra due di essi corpi che per caso passino l'uno a piccola distanza dall'altro, potranno deviarne qualcuno, ma la maggior parte dei corpi seguirà la sua strada con poca variazione, se tutto lo sciame sia abbastanza raro e i corpi sian di piccola massa relativamente alle enormi distanze che li separano; e tutti i movimenti conserveranno il carattere sistematico che avevano da principio, come si è spiegato qui sopra, § VIII. I due sistemi di Kapteyn hanno un'estensione

enorme, poichè sembra si estendano fino alla distanza corrispondente alle stelle di ottava e di nona grandezza in ogni direzione. Ciascuno di essi contiene centinaia di stelle visibili ad occhio nudo, e delle telescopiche assai più. Noi possiamo immaginare che essi formino, nel sistema generale della Via Lattea, complessi d'ordine inferiore ma pur sempre immensi tuttavia, più o meno nettamente separati gli uni dagli altri, secondo l'idea espressa da Lambert nelle sue *Lettere cosmologiche*. L'aspetto generale della Via Lattea conferma questo modo di vedere; infatti, malgrado che questi complessi d'ordine inferiore siano affollati gli uni dietro gli altri, pure tracce più o meno evidenti di divisioni più oscure e di ramificazioni più luminose esistono dappertutto; e nelle stesse parti più dense si vedono luoghi dove le stelle son rare, ed altri che prendono l'apparenza di veri tagli oscuri che attraversano la gran zona in tutto o in parte. Or questi complessi minori (salvo due, che forman le Nubi Magellaniche) sono disposti in una forma di ghirlanda o di corona irregolare, di cui non è dato a noi di capire la vera figura. Che questo ordinamento sia il risultato di forze che hanno operato per anni innumerabili, e che le sue diverse parti siano sede di movimenti diversissimi, prodotti da quelle forze, nessuno può dubitare, e così pure che in conseguenza di tali movimenti due porzioni del gran sistema galattico possano compenetrarsi in un medesimo spazio, mescolandosi così due correnti senza impedirsi l'una nell'altra nel loro moto di traslazione, non sembrerà impossibile; le correnti di Kapteyn lo pongono sott'occhio sotto forma, direi quasi, intuitiva.

VII.

IL PIANETA MARTE
ED I MODERNI TELESCOPI

Dalla *Nuova Antologia*, Seconda Serie, Volume IX
Roma, 1878.

Di tutti i pianeti del sistema solare, Marte e Venere sono quelli che più si avvicinano alla Terra, e dei quali sembra debba esser più facile studiare la costituzione fisica. Per Venere tuttavia un gravissimo ostacolo nasce da ciò, che nelle sue massime vicinanze alla Terra viene a collocarsi fra noi e il Sole, rivolgendo quindi alla Terra il suo emisfero non illuminato: un'altra difficoltà è prodotta dalla densa atmosfera, la quale molto raramente permette al nostro sguardo di distinguere le macchie della sua superficie. Marte, al contrario, quando arriva alla sua massima vicinanza alla Terra si trova rispetto a noi in posizione opposta al Sole, o, in termine tecnico, in *opposizione* al Sole: esso ci volge tutto intiero il suo emisfero illuminato. La sua atmosfera è sensibile, ma non tanto offuscata da nuvole che non si possa con molta facilità distinguere i tratti principali della sua superficie. E per questo non vi ha, dopo la Luna, alcun corpo del firmamento che offra maggior facilità per la sua esplorazione e per l'esame dei fatti fisici che sovr'esso si producono.

Nel settembre 1877 Marte venne in opposizione non solo, ma in una delle così dette *grandi opposizioni*, le quali più delle altre sono favorevoli all'esame del pianeta, perchè in esse, più che in altre, il pianeta s'avvicina alla Terra. È da sapere infatti, che le orbite della Terra e di Marte non essendo intieramente concentriche rispetto al Sole e non collocate l'una in modo esat-

tamente simmetrico dentro dell'altra, in certe parti si avvicinano più fra loro, che in certe altre. Onde avviene che i due pianeti possono accostarsi l'uno all'altro più o meno, secondo ch'essi si trovano nelle parti delle loro orbite che più si serrano l'una coll'altra, o in altre parti dove maggiormente si allontanano. Ora nel settembre 1877 la Terra e Marte si trovarono appunto collocati nei punti più avvicinati delle loro orbite, nella posizione più favorevole possibile per veder l'un pianeta stando nell'altro. Questa fu una delle *grandi opposizioni*, le quali ricorrono a periodi alterni di 15 e di 17 anni. La grande opposizione precedente aveva avuto luogo 15 anni fa, nel 1862, e la prossima seguente avrà luogo di qui a 17 anni, nel 1894. In queste circostanze Marte brilla colla sua luce rosseggiante in modo veramente straordinario, e nei secoli andati gli astrologi consideravano queste epoche come ricorrenze feconde di straordinari eventi.

Per gli astronomi moderni queste grandi opposizioni hanno un'importanza di genere diverso. In esse Marte non è lontano dalla Terra che circa un terzo della distanza dal Sole a noi. Essi profittano di questa vicinanza per ottenere la determinazione della parallasse e della distanza del Sole in modo indipendente dai celebri passaggi di Venere. In queste occasioni soltanto, a quanto finora è possibile giudicare, i due satelliti del pianeta, piccoli corpuscoli di forse 10 o 15 miglia di diametro, diventano abbastanza luminosi e abbastanza separati dal disco sfolgorante del pianeta per essere visibili. E da ultimo Marte in queste occasioni allarga il suo disco apparente fino a 25", cioè prende un diametro apparente uguale a $^{1}/_{80}$ del diametro apparente del Sole e della Luna. L'occasione è dunque ottima per esplorare la sua superficie e la sua struttura.

Io pertanto feci la risoluzione di profittare della grande opposizione del 1877 per esperimentare fin a qual punto, coll'aiuto del piccolo, ma ottimo refrat-

tore equatoriale della Specola di Brera in Milano, si potesse avanzare le nostre cognizioni sul pianeta. Io desiderava pure di verificare per propria esperienza quanto nei libri d'astronomia descrittiva si suole narrare della superficie di Marte, delle sue nevi, della sua atmosfera, e delle sue macchie; e qual grado di fede si meritassero alcune carte del pianeta, che oggi corrono per le mani di tutti. Io devo confessare, che i primi saggi non furono molto incoraggianti. Trovai le carte così diverse dalla verità, che per molto tempo non riuscii ad orientarmi su di esse, e a riconoscere l'identità di alcuno dei loro tratti coi tratti corrispondenti sul pianeta. Abbandonai dunque le carte, e cominciai a paragonare le mie osservazioni con quelle, che nella ultima grande opposizione del 1862 avevano fatto i sommi astronomi Secchi, Kaiser, Lockyer, Dawes, lord Rosse, Lassel, ecc. Ritrovai infatti nei loro disegni una parte dei miei; mi convinsi della completa stabilità dei contorni e del sito delle regioni da loro e da me delineate; le differenze si potevano spiegare colla somma difficoltà delle osservazioni, e colle nuvole, di cui or l'una or l'altra parte del pianeta è ingombra. Uno studio più accurato mi fece tosto comprendere, che nei lavori di quegli eccellenti osservatori, sebbene in parte fatti con istrumenti maggiori del mio, molto ancora si poteva aggiungere e correggere; e da quel punto risolvetti d'intraprendere sul pianeta il sistema più completo e più preciso d'osservazioni, che mi fosse possibile di fare col dato istrumento.

La causa principale delle imperfezioni delle carte già menzionate vidi derivare da questo: che gli osservatori antecedenti eransi fino ad oggi contentati di far di Marte semplici pitture ad occhio. Queste pitture più o meno rassomiglianti rappresentano sotto forma di un disco piano ciò che sul globo del pianeta offre una superficie ricurva: ed è manifesto che la trasformazione di una tal pittura in una carta simile ai nostri mappamondi non si può fare senza un certo appa-

rato di geometria e di calcolo, apparato difficile a stabilire con sicurezza sopra basi così incerte, come sono disegni fatti a vista d'occhio. Per applicare il calcolo e raggiungere la formazione di una carta veramente geometrica occorrono misure, ed io, senza negligere i disegni, mi applicai a quelle come a cosa di prima importanza.

Con questo intento dapprima determinai con 66 osservazioni la direzione che ha nello spazio l'asse o la linea intorno alla quale il pianeta s'aggira una volta ogni 24 ore e 38 minuti. Fissai quindi sul globo del pianeta la posizione del centro delle nevi, che circondano il polo australe. Poi intrapresi un altro sistema di misure, diretto a determinare sopra la superficie visibile del pianeta la posizione in latitudine e in longitudine di 62 punti più facili a definire con precisione, i quali ho chiamato fondamentali, e formano la base di tutto il rilevamento. A questi finalmente ho appoggiato la descrizione delle minute particolarità che s'incontrano sulla superficie del pianeta coll'aiuto di circa 120 disegni fatti al cannocchiale in momenti di ottima visione. Come si vede, la mia descrizione di Marte, a differenza delle altre precedenti, ha una base geometrica, ed è fatta col medesimo sistema di operazioni che serve a costruire le carte terrestri. Da ultimo non ho negletto le osservazioni, che possono condurre a conclusioni più o meno probabili sulla costituzione fisica della superficie del pianeta. Il prodotto di tutte queste osservazioni è riassunto nella carta che sta annessa al presente scritto (fig. 15).

Questa carta comprende tutto l'emisfero australe di Marte in proiezione polare: il polo australe del pianeta ne occupa il centro, e l'equatore la circonferenza. Le osservazioni del 1877 non hanno potuto dare una descrizione esatta dell'emisfero boreale. Ne è causa il fatto che nella opposizione del 1877, come in tutte le grandi opposizioni, Marte a cagione dell'obliquità notabile del suo asse di rotazione rispetto al piano prin-

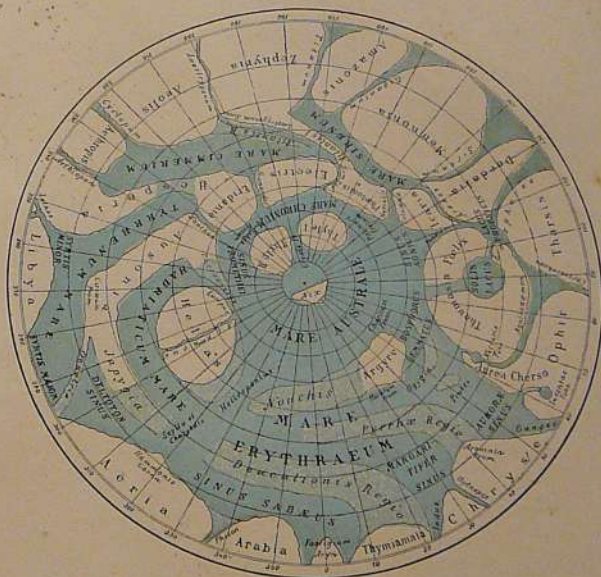
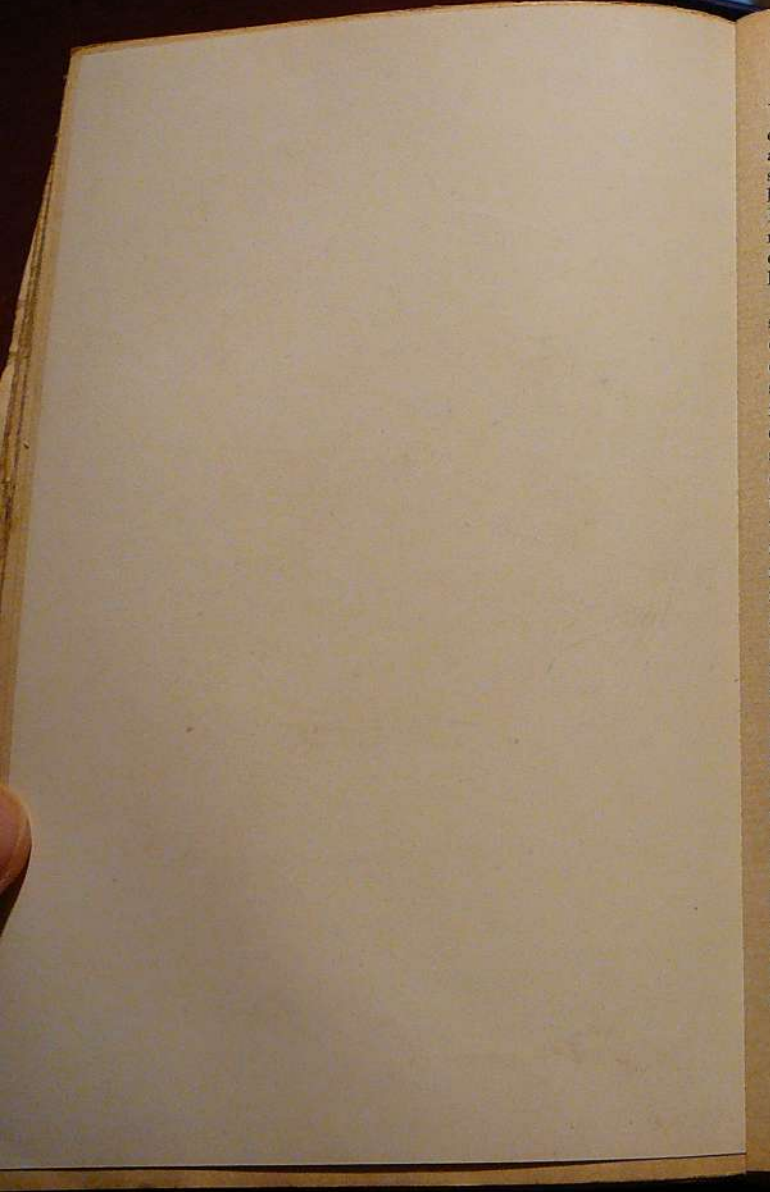



Fig. 15.
Hemisphaerium Martis Australe stereographice descriptum.

cipale del sistema solare, presentò a noi obliquo questo asse, e precisamente inclinò verso di noi il polo australe del medesimo, occultando all'osservatore il polo boreale ed una parte delle regioni ad esso circostanti. Rimane dunque, a completare la descrizione del pianeta, che si osservino le opposizioni prossime e specialmente quelle del 1882 e del 1884, nelle quali il polo boreale sarà visibile.

Neve polare. — La prima cosa notabile che si osserva in Marte sono due macchie bianche e splendenti come la neve, che occupano le regioni circostanti ai due poli di rotazione del pianeta. La similitudine di posizione e di colore colle nevi dei poli terrestri è perfetta, e la supposizione ch'esse siano veramente masse di materia congelata e cristallizzata sarebbe per ciò solo molto probabile. Ma le variazioni che quelle macchie subiscono dipendentemente dalla più o meno intensa irradiazione del Sole su quelle regioni ce ne convincono con quasi assoluta certezza. Infatti ciascuna macchia all'approssimarsi della stagione calda dell'emisfero corrispondente incomincia a diminuire lungo il suo contorno e va progressivamente riducendo la sua grandezza fino a circa 2 o $2\frac{1}{2}$ mesi dopo il solstizio. A partir da quel tempo succede di nuovo nelle nevi un lento incremento, il quale prosegue fino alla fine della stagione invernale di quell'emisfero, e dopo un intero ciclo delle stagioni di Marte si cambia di nuovo in decremento. Per l'altro polo hanno luogo le medesime vicende, però in epoche alternate, l'uno degli strati di neve raggiungendo il suo *maximum* intorno al tempo in cui l'altro raggiunge il suo *minimum*. E così abbiamo qui un'altra analogia notabile con la Terra. Sulla Terra però le masse nevose sono in proporzioni assai più considerabili che sopra Marte. Perchè presso di noi, nel cuor dell'estate, le nevi artiche possono, è vero, in qualche parte diventar penetrabili sino all'84° parallelo, siccome gli ultimi viaggi degli Inglesi, degli Americani, degli Austriaci hanno

dimostrato; ma in altre direzioni si conservano inalterate per tutta la estate anche sotto il 62° parallelo, come avviene nelle parti più meridionali del Groenland. Nell'inverno poi vaste estensioni di terreno si coprono di neve anche sotto il 45° parallelo. In Marte l'estensione delle nevi invernali pare minore che sulla Terra, sebbene osservazioni precise facciano difetto su questo punto; ma nell'estate è certissimo che le masse di neve polare si riducono a poca cosa ed il loro diametro diminuisce fino a 300 miglia circa. La neve australe nel 1877 era eccentrica rispetto al polo del pianeta, e più estesa da una parte che dalla parte opposta. Essa si contrasse talmente in novembre da lasciar scoperto il polo del pianeta, ciò che probabilmente non avviene mai sulla Terra.

Io ho parlato d'estate e d'inverno sulla superficie di Marte. Sotto questo riguardo infatti il pianeta si trova in condizioni ancora quasi intieramente uguali a quelle in cui si trova la Terra. È noto che presso di noi le vicende delle stagioni dipendono dall'inclinazione di circa 23° ½ che il piano del nostro equatore ha rispetto al piano dell'orbita dalla Terra descritta intorno al Sole. Se questa inclinazione fosse maggiore o minore è facile comprendere, come anche maggiore o minore sarebbe la diversità di temperatura nella state e nel verno. Ora, l'equatore di Marte anch'esso è inclinato sul piano dell'orbita del pianeta, e questa inclinazione è di 28 gradi, quindi non molto diversa da quella della Terra; e si può aspettare che per questo riguardo le vicende delle stagioni e la diversità fra la estate e l'inverno non siano molto maggiori che presso di noi.

Anche le vicende della temperatura diurna e della temperatura notturna non sembrano molto differenti. Infatti la durata della rotazione di Marte intorno al suo asse non è molto diversa dalla durata della rotazione della Terra: $24^h\ 38^m$ invece di 24^h. Ma ciò che può produrre in Marte qualche diversità di clima ri-

spetto alla Terra è la lunghezza del suo anno, che è di 686 giorni terrestri. Le stagioni sono dunque lunghe quasi il doppio delle nostre, e sembra che debbano per questa causa l'estate e l'inverno mostrarsi colà con intensità assai maggiore che presso di noi. Ma qualunque sia l'importanza di queste differenze, le osservazioni delle nevi polari ci dimostrano che i climi di Marte non possono essere molto più freddi dei nostri. Infatti pare dimostrato dalle osservazioni spettroscopiche, che quelle nevi sono veramente nevi d'acqua; se questo è, la poca estensione dei ghiacci polari nella state e il non giungere questi mai nelle parti vicine all'equatore nell'inverno indicano che la maggior parte della superficie del pianeta si trova, durante la maggior parte dell'anno, ad una temperatura superiore allo zero termometrico, e pertanto superiore al limite in cui la neve può cominciare a prodursi.

Ma della meteorologia di Marte noi sappiamo ancora qualche cosa di più. Varie osservazioni e deduzioni rendono certissimo che la sua superficie è avviluppata da un'atmosfera. Sopra la densità di questa atmosfera finora poco si conosce; e sopra la sua composizione chimica si desiderano osservazioni più decisive di quelle che siano state fatte sino ad oggi. La sola cosa di cui lo spettroscopio abbia data sufficiente certezza è che in quell'atmosfera si trova una quantità notabile di vapore d'acqua allo stato di gas trasparente. Condensandosi questo vapore in certe regioni più fredde, devono prodursi nebbie e nuvole simili alle nostre. Queste nebbie e queste nuvole si osservano infatti frequentemente e facilmente. Sopra le macchie oscure del pianeta, che vedremo rappresentare i suoi mari, spesso si formano, con vicenda più o meno rapida, macchie luminose di forma generalmente indistinta; sono nuvole fortemente illuminate dal Sole e delle quali noi vediamo la parte superiore. Esse si muovono, si deformano, si allungano in diverse ma-

niere, e qualche volta si sciolgono in filamenti paralleli: azioni tutte che portano a concludere all'esistenza di *venti*. Spesso si formano sopra certe regioni limitate e sopra certe isole, coprendole del tutto ed occultandole alla nostra vista, per lasciarle di nuovo scoperte più tardi. Altre volte si estendono in larghissimi strati sopra vaste estensioni dei continenti del pianeta; e questo accade specialmente quando per quelle regioni corre la stagione invernale. In queste occasioni diventano invisibili le particolarità delle forme di quei continenti e scompaiono i numerosi canali da cui sono solcati. Alzandosi gradatamente il Sole su quelle regioni e ritornando su esse la stagione estiva, vedonsi questi veli perdere a poco a poco la loro opacità, diventar semitrasparenti e da ultimo scomparire affatto, lasciando di nuovo libera la vista delle regioni sottoposte. Sopra Marte adunque la stagione fredda è, come da noi, la stagione delle nebbie e delle nuvole. E come sulla Terra, così anche sopra Marte, la sede principale delle nebbie sono le regioni polari, che di rado si scoprono intieramente. Nel 1877 però le regioni polari australi per vari mesi furono intieramente libere da questi impedimenti.

Fra la meteorologia di Marte e della Terra la similitudine è dunque grande, non però tanto da non lasciar luogo a qualche diversità. Sopra Marte la stagione della massima serenità corrisponde sempre (per quanto consta dalle osservazioni fin qui fatte) alla massima altezza meridiana del Sole, cioè all'estate. Lo stesso non può dirsi della Terra, o almeno della zona torrida della Terra, dove è noto esistere fra gli alisei australi e gli alisei boreali una striscia press'a poco parallela all'equatore, la quale è detta Zona delle calme equatoriali, celebre per la frequenza delle sue piogge e per la quasi perpetua continuità delle nuvole. Questa zona delle calme segue durante l'anno il moto del Sole, ed occupa posizioni tanto più elevate in latitudine, quanto più alto è il parallelo su cui il Sole

splende verticalmente a mezzodì. In Marte nulla ho potuto constatare di tutto questo, e sebbene molte osservazioni siano ancora necessarie per mettere in chiaro le vicende atmosferiche del pianeta, pure già mi sembra di poter dire con certezza non esistere in esso alcuna zona delle calme.

Mari e continenti. — Le nuvole di Marte, come formazioni instabili, ricoprono or l'una or l'altra parte della superficie, e rendono più difficile e più oneroso, ma tuttavia non rendono impossibile lo studio delle macchie fisse del pianeta, che ne costituiscono propriamente la topografia, e che sole trovansi rappresentate nella carta. Tutta la superficie del pianeta, astrazione fatta dall'area occupata dalla macchia nevosa, è dipinta a tinte diverse, le quali però si possono classificare in due categorie principali. Una di queste comprende gli spazi più chiari e più luminosi, che sulla carta sono indicati come se fossero terre o continenti. L'altra classe comprende le regioni più scure designate col nome di mari. A parte alcune eccezioni che considereremo separatamente, la distinzione fra queste due classi di regioni è in ogni luogo manifesta, ed i confini sono dappertutto segnati da linee precise e ben determinate.

Per trovare la causa di questa varietà di colore basta ricercare quale sarebbe l'aspetto della nostra Terra veduta da uno spettatore collocato a molta distanza da essa, e se vogliamo, anche in Marte medesimo. I continenti illuminati dal Sole rifletteranno una parte notabile della luce che ricevono dal grande astro del giorno e appariranno luminosi. I mari invece, come composti di un liquido molto trasparente, assorbiranno una grandissima parte della luce solare, e soltanto poca ne rimanderanno allo spettatore. Appariranno dunque sotto forma di macchie oscure. Tale diversità è poco sensibile all'osservatore terrestre, pel quale l'atmosfera illuminata del giorno tende a conguagliare la luce e l'oscurità, e per il quale dagli oggetti lontani i

raggi solari riflessi arrivano in direzione troppo obliqua rispetto alla superficie della Terra.

Partendo da questi dati d'esperienza si può con qualche probabilità accettare la supposizione, che le parti chiare di Marte siano i suoi continenti e le parti oscure i suoi mari. Questa probabilità è di molto accresciuta dall'aspetto medesimo della carta, dove tutto è disposto in guisa da rappresentare l'espansione di una massa liquida sopra un suolo alquanto ineguale. Noi vediamo, per esempio, tutte quelle striscie, da cui è solcata la parte luminosa della superficie, terminarsi nei grandi spazi oscuri, appellati mari, per mezzo di ampie foci a forma di tromba, ciò che è appunto quanto deve aspettarsi se i grandi spazi oscuri sono i mari, e le striscie canali di comunicazione fra un mare e l'altro.

Che del resto alcune parti della superficie di Marte debbano esser coperte da masse liquide più o meno grandi si deduce da ciò che fu detto intorno alla meteorologia del pianeta. Come si potrebbero immaginare vapori, nuvole e ghiacci polari sopra un pianeta interamente asciutto? La diminuzione e l'accrescimento alterno delle due masse dei ghiacci polari suppone un trasporto di gran quantità di materia dall'uno all'altro emisfero, che in qualche parte può succedere sotto forma di vapori, ma in massima parte deve aver luogo sotto forma di correnti liquide, come succede sulla Terra.

Durante il corso delle mie osservazioni su Marte ho accertato un fatto, il quale stringe ancor più il nodo di queste analogie fra Marte e la Terra. Studiando le tinte dei diversi mari del pianeta ho trovato questa legge, che generalmente, e salvo alcune irregolarità di carattere accidentale, il colore dei mari è più scuro che altrove nelle regioni equatoriali del pianeta, e diventa un po' meno cupo a misura che si ascende in latitudine. Ora, lo stesso, stessissimo fatto i naviganti hanno trovato succedere nei mari terrestri; molti di noi hanno potuto convincersi della dif-

ferenza di colore che offre il Mediterraneo comparato col Baltico o col Mar del Nord. Questo fatto, il celebre meteorologista Maury lo spiega col grado diverso di salsedine dei nostri mari, che dipende principalmente dalla diversa intensità dell'evaporazione, tanto essendo più scuro il mare quanto è più salso, e tanto più salso quanto più esposto all'irradiazione del Sole, il quale, come è noto, riduce in vapori l'acqua, ma non il sale in essa disciolto. Ora, da tutto questo io non oserei ancora concludere che i mari di Marte siano proprio d'acqua salata con cloruro di sodio, cioè con sale culinario. Ma tuttavia non si può fare a meno di trovar qui un'analogia molto notabile, la quale aggiunge nuova probabilità all'ipotesi, che Marte sia coperto di continenti e di mari simili ai nostri.

Una delle cose più singolari della superficie di Marte e per ora anche delle più difficili a comprendere, sono alcune regioni che, secondo il loro colore, non appartengono decisamente al mare, nè alle terre, ma sembrano partecipare dell'uno e delle altre. I principali fra questi spazi formano varie isole e penisole del Mare Eritreo, e sulla carta sono indicati con una tinta meno oscura. Altri simili spazi si trovano anche fra le terre, e fra tutti il più notabile è l'istmo della regione appellata *Esperia*. Alcune osservazioni m'inducono a credere che quelle siano veramente terre, ma sommerse a non grande profondità sotto il livello del mare circostante. Quelle terre sembrano esercitare un'azione particolare sopra lo stato dell'atmosfera sovra incombente; perchè con speciale frequenza si formano sovra esse strati di nebbia, che le coprono per intervalli più o meno lunghi. Per ben tre volte nel settembre e nell'ottobre quella di esse terre che ha il nome di *Proteo*, si coperse e si discoperse alternativamente; mentre la terra detta *Noachide*, dopo esser stata occultata dai vapori per mesi e mesi, soltanto nel dicembre 1877 apparve nel vero suo essere. L'influsso meteorologico di queste regioni sull'atmosfera è per-

fettamente analogo a quello che esercitano nei nostri mari certi banchi e bassi fondi.

Fra tutte queste regioni di mezza tinta ve ne ha una particolarmente degna di considerazione, ed è quella che sulla carta si vede occupare il mezzo della lunga penisola detta *Esperia*. Quando questa penisola si trova verso il centro del disco apparente di Marte ed è veduta perpendicolarmente, essa appare tutta continua, e forma una separazione ben definita tra i due mari collaterali, detti Mare Cimmerio e Mar Tirreno. Soltanto, la sua regione media, invece di esser chiara come le due estremità e come le regioni circostanti, è rivestita del colore che ho chiamato mezza tinta. Ma se noi aspettiamo che in forza della rotazione del pianeta intorno al suo asse quella regione si porti verso il lembo del disco sotto una visione obliqua, l'aspetto si andrà a poco a poco cambiando. La parte centrale andrà crescendo la sua oscurità, e finirà per diventare altrettanto nera che i due mari contigui. In questo stato di cose scompaiono le tracce della penisola nella parte media, i suoi confini col mare a destra e a sinistra diventano invisibili; la parte centrale sembra convertita in uno stretto di mare, e lascia dalle due parti le estremità luminose della penisola come due tronchi intieramente separati l'uno dall'altro. Questa osservazione che ho verificato più volte, ho trovato confermarsi anche da disegni di Marte che fece il padre Secchi nel 1858, e da altri osservatori ancora.

Il fatto si spiega benissimo ammettendo che le regioni di mezza tinta siano bassi fondi, come ho detto. Per Esperia questo già è reso probabile dall'aspetto medesimo della carta. È quasi impossibile difendersi dall'impressione che il dosso della penisola verso il mezzo si abbassi, lasciando adito ad una comunicazione superficiale fra i due mari. Qualunque altra ipotesi, in confronto di questa, sembra forzata e poco naturale. Ammettiamo dunque che un velo d'acqua di certa profondità copra questa parte di Esperia. Si può

immaginare che questa profondità sia abbastanza piccola, per non togliere alla vista la superficie della penisola, quando essa è veduta in direzione perpendicolare. Ma crescendo l'obliquità del raggio visuale rispetto alla superficie cresce anche la lunghezza del cammino, che i raggi solari (supposto che vengano nella direzione della nostra visuale, ciò che nell'opposizione è sempre prossimamente vero) devono fare nella massa liquida, prima e dopo della riflessione sul fondo. Gli è come se il mare in quel luogo diventasse più profondo; l'assorbimento della luce diventa maggiore, la tinta più oscura, e da ultimo diventa impossibile distinguerla da quella dei mari contermini. Quel tratto di penisola sembra allora cangiato in uno stretto.

Volgiamoci a considerare ora con qualche particolarità le diverse regioni di Marte, come stanno descritte sulla carta.

L'esame delle medesime ci condurrà ben presto alla cognizione di alcuni fatti generali, che determinano la struttura della superficie e le configurazioni che sovr'essa si notano.

I. — *Il primo fatto fondamentale è che la maggior parte delle terre sta raccolta in una zona equatoriale*, che circonda tutto il pianeta senza interruzione di mari considerabili. Questa zona è limitata al sud dalla linea, che partendo dalla Gran Sirte e camminando lungo le coste di Aeria, d'Arabia e di Chryse costeggia le rive boreali dell'Eritreo fino al Gange; di là contornando l'Aurea Cherso e Thaumasia entra per le colonne d'Ercole nel mare delle Sirene; ritorna poi, radendo i lidi settentrionali di questo mare, del mare Cimmerio e del mare Tirreno, alla Gran Sirte. Il confine della zona equatoriale verso il nord non ha potuto essere descritto nell'opposizione del 1877; però dalle osservazioni di astronomi precedenti pare che tal confine poco differisca dal 50° parallelo boreale. — La zona delle terre equatoriali dunque non è simmetrica rispetto all'Equatore, ma giace più dalla parte del nord, e i due

bacini marittimi polari da essa divisi sono molto ineguali.

II. — *Nell'emisfero australe esistono altre terre alternate od isolate con tratti di mare, e disposte in due zone parallele alla precedente.* La prima zona corre sotto le latitudini temperate australi ed è formata dalle regioni dette Icaria, Fetontide, Elettride, Eridania, Ausonia (parte australe), Ellade, Noachide, Argyre e terra di Ogige; gira tutt'intorno al polo oscillando fra il 30° e il 60° parallelo, con una sola interruzione notabile di 40° di longitudine di contro alla regione della Thaumasia, la quale può altrettanto ascriversi a questa zona, quanto all'equatoriale precedentemente descritta.

La seconda zona delle terre australi non occupa che 120° di longitudine fra il 60° e l'80° parallelo, ed è formata dalle due isole di Thyle, con una interruzione nello stretto di Ulisse. Ella è separata dalla precedente per mezzo di un vasto canale detto mar Cronio.

III. — *Fra la zona equatoriale e quella delle latitudini temperate australi corre una serie di mari interni interrotti da lunghe penisole continentali o sottomarine tutte inclinate nella direzione di nord-ovest a sud-est.* Questa è una delle singolarità che più colpiscono nella carta di Marte. I mari interni sono l'Adriatico, il Tirreno, il Cimmerio, il mare delle Sirene, i laghi del Sole e della Fenice, poi i tre sfondi dell'Eritreo, cioè, il golfo dell'Aurora, il golfo delle Perle e il golfo Sabeo; ai quali per complemento si può aggiungere il Deltoton o golfo triangolare. Le penisole, tutte obbedienti alla medesima direzione generale, sono: la parte media e boreale di Ausonia, coi suoi due rami, Enotria e Iapigia; quindi Esperia, Atlantide I ed Atlantide II. Poi (oltrepassata l'irregolarità di distribuzione che dipende dalla presenza della regione Thaumasia) di nuovo abbiamo l'Aurea Cherso, colla Terra di Proteo, che ne è un'appendice submarina; la penisola di

Pirra e quella di Deucalione. Come si vede, la presenza del mare Eritreo non disturba per nulla questa singolarissima legge di formazione. Tutte queste lingue di terra sono o intieramente o in parte sottomarine; non vi è che un'eccezione, cioè l'Atlantide I, ed anche questa non è intieramente accertata come eccezione. È notabile che la direzione in cui giacciono tutte queste penisole è quella che seguirebbero i venti alisei e le correnti marine in quella regione, indipendentemente dalla rotazione del pianeta. Non è dunque impossibile che tutto questo frastagliamento sia lavoro eseguito sulla superficie solida di Marte dai due inviluppi fluidi che lo circondano.

IV. — *Dove le anzidette penisole si attaccano alle due zone continentali attigue, esse sono fiancheggiate dalle bocche di ampi canali, che traversano le zone continentali medesime.* Se noi percorriamo la loro connessione colla zona equatoriale troviamo che la penisola di Deucalione è fiancheggiata dai canali detti Gehon ed Indo; quella di Pirra, dall'Idaspe e dal Gange; l'Aurea Cherso, dal Gange e dall'Agatodemone, l'Atlantide I dal fiume dei Titani e da quello dei Lestrigoni; l'Atlantide II dal fiume dei Lestrigoni e da quello dei Ciclopi; Esperia, dal fiume degli Etiopi e dal Lete. Lo stesso dicasi delle connessioni di questa penisola con la zona delle terre temperate australi, per i casi in cui quelle connessioni esistono. L'Atlantide I fra le Colonne d'Ercole e il Simoe; l'Atlantide II fra il Simoe e lo Scamandro; Esperia fra lo Scamandro e lo Xanto; l'Ausonia meridionale fra lo Xanto e l'Euripo.

V. — *I canali, da cui le due zone equatoriale e temperata australe son traversate, giacciono in gran parte secondo il meridiano;* così che insomma il piano fondamentale della topografia di Marte segue il tipo di uno scacchiere, essendo composto di zone presso a poco giacenti secondo il parallelo, intersecate da canali correnti lungo il meridiano. Singolarissima fra tutte è la direzione esattamente meridiana del canale

detto Alfeo, che bipartisce la grande isola rotonda detta Ellade.

VI. — *La zona equatoriale è suddivisa in due altre zone da lunghissimi canali giacenti nella direzione del parallelo.* Questi canali, che sono il Nilo, l'Oceano e l'Eunosto, formano una cintura completa intorno al globo di Marte, in generale più vicina al polo boreale che al polo australe del pianeta (1). Tale disposizione è connessa colla distribuzione a scacchi accennata poco anzi.

VII. — *Non esistono in Marte grandi masse continentali continue, ma tutta la superficie del pianeta è divisa da molti canali in un numero stragrande d'isole.* Questa singolare e veramente inaspettata disposizione dei mari e dei continenti di Marte, risulta evidente dal semplice aspetto della carta. La larghezza dei canali in questione è molto variabile; i più sottili e più difficili a constatare sembra non abbiano oltre 100 chilometri da sponda a sponda, e sono comparabili allo stretto di Malacca, ai laghi molto oblunghi Tanganyka e Nyassa, e al golfo di California. Ma ne esistono certamente altri molto più numerosi e più angusti, dei quali in qualche momento di ottima visione telescopica è stato possibile congetturare, non però affermare risolutamente, l'esistenza.

Infatti, durante il corso delle osservazioni, in ottobre 1877, mi è avvenuto due o tre volte di aver momenti brevissimi di quiete atmosferica assoluta o poco men che tale. In queste circostanze pareva che ad un tratto un denso velo sparisse dalla superficie del pianeta, la quale appariva come un complicato ricamo a più colori. Ma tale era la piccolezza di quei particolari, e così fuggevole la durata di tale stato di cose, che non era neppure possibile formarsi una coscienza ben chiara e certa delle cose vedute, e rimaneva solo l'im-

(1) Non sono indicati sulla carta, perchè appartenenti all'emisfero boreale.

pressione confusa di una fitta rete di linee sottili e di minute macchie. Una simile osservazione si trova anche presso Secchi, in data del 29 giugno 1858. « Marte è tutto rosso, e solo leggermente sparso qua e là di macchiette gialle, rosse, e cupe, che formano una specie di variegato difficilissimo a descriversi e che non dà presa alla fantasia ». Tali osservazioni conducono a credere, che sia dei canali di Marte come dei solchi della Luna, il cui numero cresce a misura che si aumenta il potere ottico e l'attenzione degli osservatori. In Marte dunque la separazione del liquido e del solido non è così grande e perfetta come sulla Terra. Sono le sue isole banchi pochissimo emergenti da un vasto impaludamento, oppure scogli divisi da un sistema di fessure della crosta? L'una e l'altra supposizione è per ora ugualmente plausibile; ma forse non è lontano il tempo in cui anche a questioni di tal fatta si potrà dare sufficiente risposta.

I grandi sollevamenti e le grandi depressioni della Terra sono attribuite dai geologi alle forze interiori della sua massa, che non sembrano ancora del tutto esaurite, e sono principalmente effetto o trasformazione del calore interno del nostro pianeta. Se noi ammettiamo con Laplace che i pianeti siansi formati per condensazione o per agglomerazione consecutiva di parti primitivamente distribuite sopra un grandissimo spazio, sarà facile, dietro i principî della teoria meccanica del calore, calcolare di quanto la temperatura di quella materia ha dovuto elevarsi pel fatto della condensazione. Questo calore di condensazione fu calcolato da Helmholtz pel Sole in 28 milioni di gradi centesimali. Per la Terra io trovo, dietro gli stessi principî, 8988° e per Marte 1995°. Tutte le altre circostanze essendo uguali, il calore interno di Marte dovrebbe essere molto minore che quello della Terra. Se a questo si aggiunge che, secondo l'ipotesi di formazione, Marte dovrebbe essere più antico della Terra, e quindi aver subito un periodo più lungo di raffreddamento; che

il suo volume essendo tanto minore, il suo raffreddamento ha dovuto esser tanto più rapido; non sembrerà irragionevole congetturare che esso si trovi, più che la Terra, progredito verso il periodo dell'assoluta impotenza delle forze interiori e dell'esclusivo predominio delle forze livellatrici della sua atmosfera e de' suoi mari.

Qualunque peso del resto si voglia dare a queste speculazioni, certo è che la costituzione fisica di Marte, per certi rispetti tanto analoga, e per altri tanto diversa da quella della Terra, merita di attirare a sè l'attenzione non solo degli astronomi, ma ancora dei geologi e dei meteorologisti. Infatti la Luna e Marte sono i corpi celesti della cui superficie sia possibile formare una carta. Ma la costituzione della Luna è talmente diversa da quella della Terra, che invano sinora si è tentato di rischiarare, collo studio della sua superficie, la storia della formazione del nostro globo. Marte invece è una piccola Terra con mari, atmosfera, nuvole e venti, e ghiacci polari; e promette, sotto questo rispetto, assai di più. Quando poi si riflette quali ingenti somme si spendono annualmente dalle nazioni civili per studiare in grande i movimenti dell'atmosfera terrestre con infinite osservazioni meteorologiche su tutte le terre e su tutti i mari del globo, sembra che non privo d'utilità pratica abbia da essere l'esame degli analoghi fenomeni presso questo pianeta nostro vicino e quasi fratello, sul quale si può con un colpo d'occhio abbracciare la meteorologia di tutto un emisfero.

Ma lo studio accurato di Marte domanda una potenza ottica assai maggiore di quella che fino ad oggi vi è stata impiegata. La carta annessa a questo articolo, sebbene più copiosa di particolari e più esatta delle altre finora pubblicate, è stata fatta con un istrumento eccellente sì, ma di dimensioni assai modeste. L'aver potuto con esso ottenere quello che si è ottenuto è stato conseguenza principalmente della quiete

degli strati atmosferici e della tranquillità delle immagini che sono un distintivo del clima astronomico della bassa Lombardia. Ma in questo medesimo clima un altro istrumento più forte avrebbe potuto dare una carta anche molto più esatta e più ricca di particolari, mentre coll'equatoriale di Milano un oggetto non può esser visibile in Marte, se almeno non è grande quanto la Sicilia, e non se ne può distinguere la forma, se almeno non uguaglia in misura l'Islanda o Ceylan.

Questo limite, forzatamente imposto alle mie ricerche, più di una volta mi ha condotto a considerare, se non vi sarebbe modo di togliere, o almeno di diminuire la troppo grande inferiorità nella quale noi osservatori italiani siamo in confronto delle altre nazioni progressive, per quanto concerne la potenza degli strumenti destinati a penetrare la profondità dei cieli. Venticinque anni fa, quando in Roma si stabiliva il gran cannocchiale del Collegio Romano, ed in Palermo un altro uguale se ne ordinava per cura del governo napoletano, l'Italia non era, sotto questo riguardo troppo indietro. In quel tempo Amici lavorava in Firenze al suo refrattore, che ora sta collocato in Arcetri: e nel mondo non esistevano allora che due strumenti maggiori di questo: cioè i refrattori di Pulkova e di Cambridge americana. I cannocchiali di Roma e di Palermo, hanno 25 centimetri per diametro del loro obbiettivo, quello d'Amici a Firenze 30 centimetri, quei di Pulkova e di Cambridge 38.

Ma l'arte di lavorare i grandi vetri obbiettivi, che fino a quel tempo era stata privilegio quasi esclusivo delle officine di Merz, a Monaco, verso il 1860 diventò conosciuta anche in America, e dopo costrutti vari strumenti di misura comparabile a quelli sopra citati, Alvan Clark, pittore di Boston, sorpassò di gran lunga quanto s'era fatto fino a quel tempo, costruendo per l'osservatorio di Chicago un obbiettivo del diametro di 45 centimetri, col quale il costruttore medesimo scoprì il satellite di Sirio. Gli Inglesi allora en-

trarono in lizza, e un ricco privato, il signor Newall di Gateshead, mise molte migliaia di sterline a disposizione di Cooke, rinomato artefice di York, perchè provasse di superare le misure di Alvan Clark. E Cooke vinse di gran lunga l'aspettazione, lavorando pel signor Newall un cannocchiale dell'apertura di 62 centimetri, il quale collocato nell'osservatorio di Gateshead e provato da persone competenti, fu trovato non meno eccellente nella qualità che nella grandezza. Il tubo di questo immenso strumento ha 12 metri di lunghezza ed è facile immaginare quali complessi meccanismi siano necessari per muoverlo con precisione e con facilità. Appena confermato questo successo il direttore dell'osservatorio nazionale di Washington spedì in Inghilterra una commissione di tre astronomi per esaminare il refrattore di Newall, ed al loro ritorno in America ordinò ad Alvan Clark di sorpassare, potendo, quelle dimensioni. Alvan Clark costruì allora per l'osservatorio di Washington quel tubo gigantesco, che dei cannocchiali fin qui costrutti è il massimo, ed ha 66 centimetri d'apertura obbiettiva e 13 metri di lunghezza. Con questo strumento si osservano e si misurano con tutto agio gli astri che prima erano considerati come il *non plus ultra* della difficoltà; e fu con esso che nell'agosto passato il professor Hall scoprì i due satelliti di Marte, che da ben pochi altri osservatori furono veduti, e che in Italia nessuno degli strumenti presenti può render osservabili. Da ultimo il governo austriaco, nell'organizzare il nuovo e splendido osservatorio di Vienna, volle munirlo di un istrumento ancora più grande che tutti i precedenti. L'artefice Grubb di Dublino s'incaricò dunque di fornire a quell'osservatorio un refrattore di 70 centimetri di apertura, che, se la perfezione uguaglierà la grandezza, sarà, per qualche tempo l'istrumento più poderoso del mondo. In confronto di questi colossi dell'ottica i nostri refrattori di 25 o 30 centimetri sono ben poca cosa. Non già che essi debbano

riguardarsi come inutili per la scienza! Nella scienza astronomica infinita è la varietà delle osservazioni che si posson fare, e molte osservazioni si fanno anche meglio con istrumenti piccoli, che con grandi. Ma certamente non è più da questi apparati, che nel prossimo avvenire potranno aspettarsi le grandi novità e le splendide scoperte.

Forse ad alcuno potrà sembrar strana questa difficoltà che s'incontra nella costruzione dei telescopi al di là di un certo limite di grandezza. Cesserà questa meraviglia, quando si considerino con qualche cura le particolarità della loro costruzione. Un cannocchiale non è che un tubo armato di alcuni vetri lavorati in forma di lente. Di queste lenti, quelle che stanno dalla parte dell'osservatore sono in generale tanto più piccole e tanto più facili a lavorare, quanto più forte è l'ingrandimento che si vuol ottenere; non è dunque qui la difficoltà. La parte essenziale, quella da cui interamente dipende l'eccellenza dell'istrumento è l'obbiettivo, cioè la gran lente posta dalla parte rivolta verso l'oggetto che si guarda. Il diametro di questa lente determina la quantità di luce che entra nell'istrumento, e quindi la *chiarezza* delle immagini da esso formate; la perfezione della materia onde questa lente è composta, e del suo lavoro, è quella che decide se gli oggetti nell'istrumento si vedranno ben netti e ben determinati, e da questa principalmente dipende di poter far uso di amplificazioni più o meno potenti.

Ora, quanto al diametro, la difficoltà non è grande, e vi ha tal fabbrica di vetri che s'impegna a dare dischi di questa materia anche di un metro e mezzo di diametro. Ma per buone lenti non basta un vetro qualunque, bisogna che esso sia di perfetta omogeneità nella sua massa, vale a dire che abbia dappertutto esattamente la medesima composizione chimica e la medesima densità. Or queste qualità quando si tratta di grandi masse non si raggiungono dai fabbricatori

che superando infiniti ostacoli, e adoperando grandi precauzioni. La difficoltà cresce ancora per la necessità di fare che l'obbiettivo sia *acromatico*, cioè tale, che non produca nei contorni delle immagini quelle colorazioni viziose, che tanto ne turbano la distinzione e la verità. È già stato dimostrato da lungo tempo che con una lente sola è impossibile raggiungere questo intento, e che sono a ciò necessarie almeno due lenti. Tutti gli obbiettivi impiegati nell'astronomia debbono esser acromatici, e tutti son formati di due lenti. Inoltre perchè l'effetto combinato delle due lenti valga a togliere ogni confusione di colori è necessario che una di esse sia formata di vetro molto pesante e contenente molti sali di piombo, che l'altra sia formata di vetro molto leggero e contenente molta potassa. Per tutti questi fatti il problema cresce in complicazione e la riuscita della fusione di questi grandi vetri diventa sempre più difficile. Non solo due vetri invece di uno raddoppiano il lavoro e la spesa; ma la composizione chimica che è necessario di dar loro, genera difficoltà speciali. Non farà dunque meraviglia il sentire che l'obbiettivo dell'equatoriale di Milano, con cui fu fatta la carta di Marte, ed il cui diametro è di 22 centimetri, ha costato cinquemila lire, e che un obbiettivo di 49 centimetri costa a Monaco l'egregia somma di 36 mila lire.

Tutte queste difficoltà hanno indotto gli artefici a cercare di raggiungere il medesimo scopo per altra via più semplice, sostituendo cioè alle lenti di vetro uno specchio concavo. I telescopi così formati diconsi *a riflessione;* e considerando la cosa dal lato teorico, sembra che dovrebbero avere sui cannocchiali a vetri immensi vantaggi. Prima di tutto, invece di lavorare le quattro superficie delle due lenti, qui non si ha che una superficie sola, la superficie riflettente dello specchio cavo. Secondo, la fusione del metallo, di cui lo specchio è formato, è molto più facile che quella dei vetri; quando la superficie è lavorata bene, la maggiore

o minore omogeneità della sua composizione sembra non debba avere alcuna importanza. Terzo, è possibile ottenere specchi del diametro anche di due metri senza incontrare difficoltà insuperabili. Questi vantaggi furono stimati molto grandi dagli artefici e dagli astronomi inglesi, e l'arte dei telescopi riflettori ebbe origine e fu fino ad oggi quasi esclusivamente praticata in Inghilterra. I principali perfezionamenti furono in essa introdotti dal celebre Herschel, il quale nella sua vita fuse e lavorò più centinaia di specchi, cominciando dai piccoli diametri, fino al diametro massimo di tre piedi inglesi (poco meno di un metro) e scoprì con essi nel cielo un gran numero di cose che prima di lui non s'eran vedute e non sarebbe stato possibile vedere. Il suo esempio fu seguito anche ai nostri giorni, e celebri sono il riflettore della specola di Melbourne in Australia, il cui diametro è di 120 centimetri; e il gigante massimo dell'ottica, il riflettore che lord Rosse costruì nel suo osservatorio privato di Parsonstown in Irlanda, del quale il diametro non è meno di sei piedi inglesi, cioè quasi di due metri.

Ai tempi di Herschel, in cui un obbiettivo a vetro acromatico di dieci centimetri di apertura si considerava come una rarità, il vantaggio dei telescopi a riflessione sopra i refrattori o telescopi a vetri era molto sensibile; e certamente gli istrumenti di Herschel per molto tempo non ebbero rivali. Anche oggi, se tutto dipendesse dal diametro, i telescopi a vetri sarebbero ancora molto inferiori, perchè il massimo obbiettivo a vetri conosciuto, che si sta collocando per l'osservatorio di Vienna, ha soli 70 centimetri, mentre il citato riflettore di lord Rosse misura quasi due metri di ampiezza. Ma vi sono altre cose, che diminuiscono questa superiorità dei riflettori; e ve ne sono poi ancora altre, che ne rendono impossibile l'uso nelle operazioni precise dell'astronomia, cioè quando si tratta non solo di vedere, ma anco di misurare. Il

principale difetto dei riflettori consiste nella difficoltà di conservare allo specchio quella esatta forma (sferica o parabolica) che è necessaria onde ottenere una visione precisa e netti contorni. Il metallo è assai più flessibile del vetro; inoltre le variazioni di temperatura hanno su di esso più rapido e più sensibile effetto. Quindi anche i più dichiarati partigiani dei riflettori confessano che è quasi impossibile ottenere con essi quella precisione d'immagini e quella potenza di distinguere gli oggetti più minuti, che si raggiunge coi vetri. Io posso citare di ciò un esempio luminosissimo. Nel 1862, occorrendo una delle grandi opposizioni di Marte, il riflettore di Parsonstown fu impiegato ad esaminare ed a disegnare il pianeta. Questi disegni sono pubblicati, e, a mio giudizio, non possono competere per esattezza e copia di particolari con quelli, che fecero contemporaneamente il signor Lockyer a Londra e il signor Kaiser a Leyda, muniti entrambi di cannocchiali a vetri di 15 centimetri di diametro. Questi refrattori dunque davano maggior precisione e maggior distinzione, che un riflettore di diametro 13 volte più grande, sebbene la loro luce fosse almeno 100 volte minore.

Il fisico francese Foucault ha evitato in parte gli inconvenienti accennati per gli specchi di metallo, surrogandovi specchi di vetro, la cui superficie riflettente è un sottilissimo strato di argento, depostovi sopra con processo chimico. Dopo di lui in Francia si considerò come cosa d'onor nazionale l'adoperare telescopi riflettori costruiti con questo sistema, e recentemente uno assai grande e costoso fu stabilito in Parigi all'osservatorio, che però non rispose all'aspettazione. Questi strumenti hanno l'inconveniente di richiedere, almeno una volta all'anno, una nuova argentatura e lavoratura dello specchio, la sottile pellicola d'argento corrompendosi facilmente al contatto di certi acidi, che in quantità minime, ma pur sufficienti, esistono sempre nella nostra atmosfera.

Queste ragioni, congiunte all'impossibilità di dare ai telescopi a specchio quel grado di rigidezza e di comodità che presentano i refrattori hanno fatto sì che nei pubblici osservatori, dove non si può attendere a continui tentativi, ed a continui esperimenti, dove si deve cercare che gli istrumenti durino, e ad ogni momento siano pronti all'osservazione, si è da tutti generalmente data la preferenza ai telescopi a vetri, ed io credo con molta ragione.

Quando si parla di grandi telescopi una importante questione suole presentarsi alla mente di molti. Qual'è il limite finora raggiunto nella forza della visione telescopica, e fino a qual punto si può sperare di giungere? E ad una data distanza qual'è l'oggetto più minuto che si possa sperare di vedere coi più potenti telescopi?

Sopra questo argomento ho fatto durante le mie osservazioni su Marte un numero abbastanza grande di esperienze, che mi sembrano concludenti, perchè non dipendono da alcuna specie di teoria. Dopo di aver fatto la carta di Marte nel tempo in cui questo pianeta era comparativamente molto vicino alla Terra, e determinate così le misure di certe regioni, di certi laghi, di certi canali, io seguii il pianeta nel suo progressivo allontanarsi della Terra, e notai le distanze, alle quali uno e poi un altro e poi un altro oggetto incominciava a diventar invisibile per la troppo piccolezza apparente. In questo modo ho potuto calcolare quali erano le misure di quegli oggetti nel tempo che si rendevano invisibili, ed ottenni così i numeri che esprimono il limite della potenza del telescopio da me adoperato, il cui obbiettivo ha 22 centimetri di diametro. Seguendo poi alcuni ragionamenti, che qui mi è impossibile sviluppare, ho concluso che per un obbiettivo di 70 centimetri, limite presente delle misure dei refrattori, si possa supporre una potenza di distinzione circa doppia di quella che possiede il telescopio di Milano. Ecco ora che cosa ho creduto di poter concludere in questa materia.

Sopra un disco planetario simile a quello di Marte, una macchia oscura in fondo chiaro, o una macchia chiara in fondo oscuro si può ancora distinguere (supposte condizioni perfette nell'istrumento e nell'atmosfera) quando il suo diametro sia $\frac{1}{800.000}$ parte della sua distanza; e quando questo diametro arrivi ad $\frac{1}{500.000}$ della distanza, si può anche aspirare a conoscere in grosso la forma di quella macchia, e dire se è quadrata o rotonda. Questo equivale al vedere un pezzo da 10 centesimi nella distanza di 20 chilometri nel primo caso, e al distinguere la rotondità nella distanza 12½ chilometri nel secondo caso. Trasportando queste proporzioni alle distanze celesti, troveremo che nella Luna dunque sarà visibile ogni oggetto che giunga alle dimensioni di 460 metri. In Marte sarà visibile ogni oggetto che giunga a 70 chilometri d'estensione e nel Sole ogni oggetto che misuri 200 chilometri almeno. Questo per le macchie di dimensioni circoscritte in ogni senso. Quando si tratta di linee o di striscie allungate, basta che la larghezza sia la metà delle dimensioni assegnate pel diametro limite di una macchia come sopra. Un canale di 230 metri di larghezza sarebbe visibile nella Luna; in Marte uno di 35 chilometri di larghezza; nel Sole una striscia larga 100 chilometri. Si vede, che siamo ancor molto lontani dal poter distinguere nei pianeti opere anche le più grandi di esseri organizzati simili a noi, dato che nei pianeti esistano. Nella Luna ciò sarebbe meno difficile, ma nella Luna non abbiamo atmosfera di certa esistenza, e si può dubitare che colà esistano le condizioni necessarie per la vita organica di qualunque specie.

Circa i progressi che si faranno nell'avvenire non si può dir nulla di sicuro: ma le speranze non sono molto grandi. Dato pure che si riesca a costruire e a maneggiare refrattori di 2 e di 3 metri di diametro,

un limite verrà presto imposto nella necessaria grossezza che si deve dare ai vetri, e quanto si guadagnerà in larghezza, tanto si perderà in trasparenza. Allora il vantaggio sarà di nuovo pei telescopi a specchi; ma come già ho accennato, finora non si è trovato il modo di ottenere da essi la precisione necessaria per applicare i forti ingrandimenti. Poi non sarà da negligere l'ostacolo imposto dalla presenza dell'atmosfera terrestre. L'agitazione che essa produce nelle immagini telescopiche, non mai intieramente nulla, ed il suo effetto cresce nella stessa proporzione che l'ingrandimento impiegato; così che una stella, un pianeta che appare ben terminato e tranquillo sotto l'ingrandimento di 50, sembrerà una massa informe ed in continua ebollizione sotto l'ingrandimento 500. Per questa ragione alcuni hanno proposto di collocare i grandi telescopi sulla cima di alte montagne non formanti sistema, come sul picco di Teneriffa, e sull'Etna. In quelle altezze l'atmosfera stando per metà sotto i piedi dell'osservatore, gli effetti della sua agitazione possono infatti esser minori.

Se la costruzione di un telescopio potente offre tanti problemi difficili, altri non minori ne offre l'arte di collocarlo e di adoperarlo. Nessun tubo a vetri può esser perfetto, se non è lungo almeno 15 volte il diametro del suo vetro obbiettivo. Un tale tubo non si può adoperare comodamente per le operazioni astronomiche, se non è girevole intorno ad un asse parallelo all'asse di rotazione della Terra, e nello stesso tempo intorno ad un altro asse perpendicolare al primo. Un tale tubo dicesi allora montato *equatorialmente*. Per trovare gli astri che si devono esaminare, e per determinarne, occorrendo, la posizione, deve esser munito di due circoli divisi con qualche precisione in minute parti. In tutte le posizioni che il tubo può prendere, bisogna che esso coi suoi circoli sia perfettamente equilibrato e non cada da alcuna parte. Quindi la necessità di molti e gravi contrappesi. E

malgrado il peso enorme, bisogna, che e tubo e circoli ed asse e parte dei contrappesi si possano muovere con lieve sforzo della mano dell'osservatore. Finalmente per poter esaminare e misurare gli astri, bisogna che il tubo li segua con moto automatico nella loro rivoluzione diurna; e col tubo tutto il resto. Ogni refrattore equatoriale è quindi provveduto di un meccanismo, che fa eseguire a tutta la macchina (che possono essere più tonnellate di metallo) in 24 ore un giro intorno a quello degli assi che è parallelo all'asse del mondo. Questo movimento dev'essere esattamente uniforme ed eguale a quello che apparentemente fa il cielo intorno al proprio asse; e di qui nasce un problema di meccanica pratica, del quale soltanto negli ultimi tempi è stata trovata una conveniente soluzione.

Io tacerò di altre complicazioni e di altri meccanismi necessari per portare l'osservatore e tenerlo nella conveniente posizione presso l'oculare; per tenere libera all'istrumento qualunque direzione del cielo, e per difenderlo tuttavia dalle intemperie, che facilmente potrebbero guastarne la complessa e delicata costruzione. E piuttosto aggiungerò ancora alcune parole sui problemi che con questi apparati si risolvono, sulle incognite, delle quali si può col loro aiuto sperare la cognizione.

E primieramente per quanto concerne il semplice esame telescopico dei corpi del sistema solare. La grande apertura permette, quando l'istrumento è ben fatto, una maggior forza di distinzione dei minuti particolari. Nuove rivelazioni sul Sole forse non si potranno aspettare; ma certamente deve essere possibile di penetrare più addentro che finora non siasi fatto, nella struttura di quelle piccole nubecole luminose, dalla cui agglomerazione sembra intieramente o quasi intieramente composto lo strato luminoso, che ai nostri occhi pare determinare i limiti e la superficie del corpo solare.

Per quanto concerne Mercurio e Venere, tutto è ancora da fare; e neppure siamo ben certi della loro rotazione intorno ad un asse qualunque. Quanto si trova indicato sulla loro costituzione fisica nei libri popolari non è tutto fondato sopra osservazioni abbastanza degne di fede. Le difficoltà di osservar questi corpi sono talmente grandi, da non lasciar molta speranza per l'avvenire. Tuttavia è possibile, almeno per Venere, che, accrescendo il potere ottico, si riesca col tempo e colla perseveranza a saper qualche cosa di più.

Riguardo alla Luna, immensa è la quantità di oggetti che sovr'essa si possono osservare anche con un mediocre telescopio. La necessità di forti amplificazioni non si farà sentire se non quando si tratterà di esaminare minutamente qualche oggetto degno di peculiare studio; poniamo, per esempio, le macchie chiamate Linneo ed Igino, nelle quali si è voluto scorgere indizi di una mutazione. E certo sarebbe tempo di assicurarsi, se veramente la Luna sia ridotta ad una massa inerte, o se almeno qualche parte operi ancora nel suo interno di quegli agenti, che in modo così singolare ne hanno lavorato e frastagliato la superficie.

Per Marte si può dire che ogni perfezionamento dell'arte ottica sarà un nuovo progresso della sua carta, e una nuove fonte di nozioni sulla sua costituzione fisica. Io spero che di qui a non molti anni la carta annessa al presente lavoro non sarà più che un monumento istorico, e sarà considerata dagli areografi collo stesso occhio, con cui noi consideriamo le carte terrestri di Eratostene e di Tolomeo.

Nei maggiori fra i piccoli pianeti non si è potuto finora accertare un diametro apparente sensibile; causa senza dubbio l'insufficiente apertura degli istrumenti impiegati. Io non credo impossibile che vi si possa arrivare per Vesta, per Iride e per alcuni altri. Sulla possibilità di poter scoprire anche una rotazione in alcuno di questi astri non oso esprimere alcuna opinione.

Per Giove forse sarà opportuno seguire meglio i

rivolgimenti che continuamente hanno luogo nella sua densa atmosfera. Ma una carta nel vero senso della parola non è probabile che si possa fare per questo pianeta, il quale non presenta alcuna macchia assolutamente fissa e sembra in tutta la sua superficie continuamente ottenebrato da nuvole. Sulla superficie dei suoi satelliti, a giudicare dalle osservazioni che ne ha fatto il Padre Secchi, dev'essere possibile ottenere maggiori informazioni che fin ora non si siano avute. Qui il successo dipende intieramente ed esclusivamente dalla cresciuta forza del telescopio.

Saturno è uno degli astri in cui sempre si va trovando qualche cosa di nuovo. Il così detto anello oscuro, le divisioni dell'anello luminoso; le variazioni di larghezza e di numero delle zone nebulose che circondano il pianeta, e molti altri soggetti di osservazione potrebbero occupare poco meno che tutto il tempo di un astronomo.

Quanto ad Urano ed a Nettuno si può dire che della loro costituzione fisica si sa poco o nulla. Dalle osservazioni spettroscopiche appare che abbiano atmosfere molto dense. Qui tutto è ancora da fare specialmente riguardo a Nettuno, il quale sembra costrutto in modo assai diverso da quello che generalmente si crede.

I satelliti dei pianeti superiori presentano un vasto campo di lavori e di scoperte, quasi esclusivamente riservate ai potentissimi refrattori. Con questi e non con altri strumenti si possono fare le osservazioni e le misure dei satelliti d'Urano, di una parte di quelli di Saturno, e dei due satelliti di Marte. Vi sono satelliti di Venere e di Mercurio? Queste interrogazioni un anno fa potevano sembrare vanissime, ma dopo la scoperta dei satelliti di Marte la risposta non può più darsi che dopo esauriti tutti i mezzi di ricerca.

Se noi uscendo dai confini comparativamente angusti del sistema solare, entriamo nel mondo delle

stelle, troviamo problemi di non minore importanza. È noto generalmente che non tutte le stelle sono isolate, ma che in gran numero sono raccolte in sistemi di più stelle, binari, tripli, quadrupli e multipli insomma, in ciascuno dei quali ogni astro si muove secondo l'impulso delle attrazioni combinate di tutti gli altri corpi appartenenti al medesimo sistema. Di questi, i più semplici e i più facili a studiare sono i sistemi binari, cioè le stelle doppie. Due stelle così legate l'una all'altra, si aggirano l'una intorno all'altra in un periodo più o meno lungo; e già si conoscono parecchie stelle doppie, che compiono la loro rivoluzione in un tempo comparativamente breve, in meno di mezzo secolo. Tutte queste stelle di rapido movimento sogliono essere così veloci, perchè l'attrazione dell'una verso l'altra è grande, e l'attrazione reciproca è grande, quando esse son molto vicine fra loro. Conseguentemente le stelle doppie di breve periodo sogliono presentarsi così strette l'una delle componenti all'altra, che soltanto con amplificazioni fortissime riesce di separarle e di misurarle. Tutto il mondo delle stelle doppie e multiple appartiene ai grandi refrattori, ed i sistemi più importanti, cioè quelli che hanno più breve periodo, appartengono propriamente ai grandissimi refrattori.

Coi loro larghi obbiettivi questi istrumenti raccolgono molta luce, e perciò essi sono pure molto adatti, purchè convenientemente adoperati, allo studio delle nebulose e delle comete, dove la materia si presenta sotto forma di lieve e trasparente vapor luminoso. Armandoli di oculare con prismi, essi cessano di esser cannocchiali ordinari e diventano spettroscopi, cioè cannocchiali chimici; invece delle *forme* della materia celeste, ce ne rivelano la *composizione chimica*. Questa mirabil arte, trovata non son più di quindici anni, è tuttora nei suoi principî, eppure ha già prodotto conclusioni meravigliose sulla natura delle materie onde sono composti i corpi dell'universo. Che essa sia capace

di grandi perfezionamenti, non vi ha alcun dubbio; e i grandi telescopi permetteranno di estendere alle più deboli nebulose e alle stelle minori quelle conclusioni che già si ebbero sulla natura del Sole e delle stelle maggiori e di alcune più grandi nebulose. Anche ai grandi telescopi è riservato lo studio finora imperfetto della composizione chimica delle atmosfere planetarie, e dei multipli inviluppi delle comete telescopiche. Aggiungerò una cosa che vi parrà incredibile, o signori, ma che tutti gli astronomi pure sanno benissimo esser vero: esservi cioè speranza fondata di giudicare, coll'aiuto del telescopio trasformato in spettroscopio, se una data stella si avvicini o si allontani da noi, e di misurare la quantità di questo avvicinamento e di questo allontanamento. La quale speranza si potrà convertire in reale effetto solamente colla combinazione di un obbiettivo molto grande con un sistema di prismi abbastanza dispersivo. Grandi tentativi si fanno in questo senso e la soluzione probabilmente non è lontana.

Come si vede non manca all'astronomia la materia di nuove scoperte e di nuovi trionfi. Manca piuttosto ad essa un sufficiente numero di cultori armati con istrumenti atti alla risoluzione dei più ardui problemi. I grandi telescopi di cui sopra si è parlato, sono, e per qualche tempo saranno ancora, molto rari a cagione del loro costo, che si novera per centinaia di mila lire. La moltiplicazione di questi e di altri simili dispendiosi apparati scientifici avverrà soltanto quando le nazioni, cessando dallo sprecare il meglio delle loro forze nel nuocersi reciprocamente, potranno occuparsi alquanto della loro felicità e del loro perfezionamento. Allora forse sentiremo parlare un po' meno di Armstrong e di Krupp, e un poco più di Merz, di Cooke e di Alvan Clark.

VIII.

IL PIANETA MARTE

Dalla Rivista *Natura ed Arte*, Anno II, N. 5 e 6
1 e 15 febbraio 1893 — Milano.

I.

Nelle belle sere dell'autunno passato una grande stella rossa fu veduta per più mesi brillare sull'orizzonte meridionale del cielo; era il pianeta Marte, che si accostava per qualche tempo alla Terra in una delle sue apparizioni, solite a ripetersi ad intervalli di 780 giorni. Nella schiera degli otto pianeti principali Marte occupa, per volume, il penultimo luogo; il solo Mercurio è più piccolo di lui. Ma in certe posizioni, in cui egli ritorna ad intervalli di sedici anni, Marte può avvicinarsi alla Terra più dell'usato, brillando più di ogni altro pianeta, Venere sola eccettuata; ed in tali contingenze tanto arde di luce rossa, da meritare il nome, che i Greci gli diedero di *Pyrois* (infocato). Nei tempi ormai per sempre passati, quando si pretendeva di leggere in cielo l'avvenire degli umani eventi, queste grandi apparizioni di Marte erano lo spavento dei popoli, e davano molto da fare agli astrologi, ai quali incombeva il compito, non sempre facile, di studiare l'influsso del pianeta sulle vicende guerresche e sulle costellazioni politiche del momento. Anche ora la grande apparizione testè avvenuta di Marte ha destato il pubblico interesse; ma per una ragione ben diversa. Oggi è nata presso alcuni la speranza, che da osservazioni diligenti fatte sulla sua superficie con giganteschi telescopi, si possa ottenere quando che sia la soluzione di un gran problema cosmologico; si possa arrivar cioè a sapere, se i corpi celesti possano dirsi sede di esseri intelligenti, o, almeno. di esseri organizzati.

L'idea di popolare gli astri e le sfere celesti d'intelligenze pure o corporee, di animali e di piante, non è nuova; ed una curiosa rassegna sarebbe a farsi di tutti gli scrittori antichi e moderni che si esercitarono su questo tema, incominciando dal *Sogno di Scipione* di Cicerone, e dalla *Storia veridica* di Luciano Samosatese, e venendo giù per Dante, Giordano Bruno, Ugenio e Kircher a quegli eleganti novellatori francesi Cyrano di Bergerac, Fontenelle, Voltaire, i quali posero negli spazî celesti il teatro delle loro argute o satiriche descrizioni, per arrivare in ultimo al celebre Hans Pfaal d'Amsterdam, ben noto ai lettori di Edgar Poe. La maggior parte di questi scritti però o professano di essere pure immaginazioni poetiche, o sono scherzi di ingegno dei quali il vero pregio deve cercarsi in tutt'altra parte che in una seria discussione dell'argomento di cui stiamo discorrendo. Ma nel presente secolo diversi scrittori tentarono di elevare la pluralità dei mondi abitati alla dignità di questione filosofica. Lasciando da parte le sedicenti rivelazioni degli spiritisti, che ai nostri tempi hanno rinnovato ed anzi superato le visioni di Swedenborg, basterà nominare Giovanni Reynaud (*Terre et Ciel*) e Davide Brewster (*More Worlds than one*) i quali collocarono negli astri le speranze della nostra vita futura e seppero trovare, non dirò dimostrazioni (chè in questa materia non ve n'è) ma pensieri ed aspirazioni che ebbero e sempre avranno eco vivissima nel sentimento di molti. Metafisica per metafisica, preferiamo questa ai dogmi brutali e scoraggianti del materialismo. Quanto ai teologi cristiani, essi, seguendo l'esempio di San Tommaso, quasi tutti osteggiarono l'idea che possano esistere altri mondi simili al mondo terrestre. Dico, *quasi tutti*, perchè noi leggiamo in uno di loro, a cui certamente nessuno ha potuto far rimprovero d'empietà, le parole seguenti (1):

(1) Secchi, *Lezioni di fisica terrestre*, p. 214-216.

« Il creato, che contempla l'astronomo, non è un semplice ammasso di materia luminosa; è un prodigioso organismo, in cui, dove cessa l'incandescenza della materia, incomincia la vita. Benchè questa non sia penetrabile ai suoi telescopi, tuttavia, dall'analogia del nostro globo, possiamo argomentarne la generale esistenza negli altri. La costituzione atmosferica degli altri pianeti, che in alcuno è cotanto simile alla nostra, e la struttura e la composizione delle stelle simile a quella del nostro Sole, ci persuadono che essi, o sono in uno stadio simile al presente del nostro sistema, o percorrono taluno di quei periodi, che esso già percorse, o è destinato a percorrere. Dall'immensa varietà delle creature che furono già e che sono sul nostro globo, possiamo argomentare la diversità di quelle che possono esistere in altri. Se da noi l'aria, l'acqua e la terra sono popolate da tante varietà di esse, che si cambiarono le tante volte al mutare delle semplici circostanze di clima e di mezzo; quante più se ne devon trovare in quegli sterminati sistemi, ove gli astri secondari son rischiarati talora non da uno, ma da più soli alternativamente, e dove le vicende climateriche succedentisi del caldo e del freddo devono essere estreme per le eccentricità delle orbite, e per le varie intensità assolute delle loro radiazioni, da cui neppure il nostro Sole è esente!

« Sarebbe però ben angusta veduta quella di voler modellato l'universo tutto sul tipo del nostro piccolo globo, mentre il nostro stesso relativamente microscopico sistema ci presenta tante varietà; nè è filosofico il pretendere che ogni astro debba esser abitato come il nostro, e che in ogni sistema la vita sia limitata ai satelliti oscuri. È vero, che essa da noi non può esistere che entro confini di temperatura assai limitati, cioè tra 0 e 40-45 gradi centesimali, ma chi può sapere se questi non sono limiti solo pei nostri organismi? Tuttavia, anche con questi limiti, se essa non potrebbe esistere negli astri infiammati, questi astri

maggiori avrebbero sempre nella creazione il grande ufficio di sostenerla, regolando il corso dei corpi secondari mediante l'attrazione delle loro masse, e di avvivarle colla luce e col calore. E qual sorpresa sarebbe, se fra tanti milioni, anche molti e molti di questi sistemi fossero deserti? Non vediamo noi che sul nostro globo regioni, in proporzioni assai estese, sono incapaci di vita? L'immensità della fabbrica, non verebbe perciò meno alla sua dignità, nè allo scopo inteso dall'architetto.

« La vita empie l'universo, e colla vita va associata l'intelligenza; e come abbondano gli esseri a noi inferiori, così possono in altre condizioni esisterne di quelli immensamente più capaci di noi. Fra il debole lume di questo raggio divino, che rifulge nel nostro fragile composto, mercè del quale potemmo pur conoscere tante meraviglie, e la sapienza dell'autore di tutte le cose è una infinita distanza, che può essere intercalata da gradi infiniti delle sue creature, per le quali i teoremi, che per noi son frutti di ardui studi potrebbero essere semplici intuizioni ».

Mi son permesso di trascrivere questo passo del Secchi, perchè è difficile dir più e meglio in sì poche parole. Ai nostri tempi la dottrina della pluralità dei mondi abitati da esseri viventi ed intelligenti ha trovato un ardente apostolo in Camillo Flammarion. Questo dotto ed immaginoso scrittore, nel quale la scienza copiosa ed ordinata dei fatti d'osservazione non impedisce l'esercizio di una fantasia potente e della più seducente eloquenza, già da trent'anni va svolgendo la questione sotto i suoi vari aspetti in diverse opere, le quali e da chi consente, e da chi dubita si fanno leggere assai volentieri (1). Egli si è proposto di sottrarre questo tema alla fantasia dei poeti ed al-

---

(1) Leggansi particolarmente: *La Pluralité des Mondes Habités; Les Mondes imaginaires et les Mondes réels; Récits de l'Infini; Les Terres du Ciel; Contemplations Scientifiques.*

l'arbitrio dei novellieri e di circondare l'ipotesi della pluralità dei mondi abitati con tutto l'apparato scientifico, che oggi è possibile chiamare in suo soccorso; di darle così tutto quel grado di logica consistenza e di probabilità empirica di cui è capace. « Faire converger toutes les lumières de la science vers ce grand point, La Vie universelle; l'éclairer dans son aspect réel; établir ses rayonnements immenses et montrer qu'il est le but mystérieux autour du quel gravite la création toute entière; agrandir ainsi jusque par de là les bornes du visible le domaine de l'existence vitale, si longtemps confiné à l'atome terrestre; déchirer les voiles qui nous cachaient le règne de l'existence à la surface des mondes; et sur la vie à l'infini répandue permettre à la pensée de planer dans son auréole glorieuse; c'est là, selon nous, un problème, dont la solution importe à notre temps ». Questo è lo splendido programma al quale il cosmologo francese ha consacrato il suo ingegno e la sua varia coltura. Leggendo le sue pagine animate da calda eloquenza ed ardenti del desiderio dell'ignoto, si è tratti ad esclamare coll'Ettore virgiliano:

...................Si Pergama dextra
Defendi possent, certe hac defensa fuissent.

Se fosse stato possibile dimostrare l'esistenza della vita e dell'intelligenza nei globi celesti con altri argomenti, che con quelli della diretta osservazione, nessuno più del Flammarion avrebbe meritato di farlo. Ma pur troppo è da confessare che, quanto a risultati di osservazione, finora abbiamo poche speranze e nessun fatto. La Luna, che di tutti gli astri è senza paragone il più prossimo a noi, e nella quale oggetti di 400 e 500 metri di diametro sono visibili senza troppa difficoltà nei potenti telescopi del tempo moderno, la Luna non ha dato fatti, e non dà neppure speranze. Più la si esamina, e più si ha ragione di credere, che sia un deserto di aride rupi, privo d'ogni elemento

necessario alla vita organica. Nè fatti, nè speranze si possono avere dallo studio della superficie di Venere, che fra tutti i pianeti è quello che può avvicinarsi maggiormente alla Terra. La sua atmosfera è perpetuamente ingombra di dense nuvole, le quali finora hanno impedito ed impediranno probabilmente ancora per lunghi secoli (se non per sempre) di conoscere i particolari del suo corpo solido, e quanto su di esso avviene. Per ragioni non dissimili (a cui si aggiunge la grande lontananza) nulla avremo a sperare in quest'ordine di idee dallo studio dei grandi pianeti superiori, Giove, Saturno, Urano, e Nettuno. Quanto a Mercurio, le sue osservazioni sono di una estrema difficoltà, avviluppato com'egli è di continuo nella luce del Sole; tanto che solamente negli ultimi anni è stato possibile discernervi entro qualche macchia con sufficiente frequenza e determinare il vero periodo della sua rotazione. Non parliamo nè del Sole, nè delle stelle, nè delle comete, nè delle nebule; tutti corpi, dei quali la costituzione fisica non sembra propria alla produzione e alla conservazione della vita, almeno nelle forme con cui noi l'intendiamo.

Tutte le nostre speranze si sono quindi a poco a poco concentrate su Marte, il solo astro che possa giustificarle sino ad un certo punto, siccome or ora si vedrà. Tali speranze si sono accresciute ed hanno raggiunto anzi presso alcuni un grado di esaltazione quasi febbrile, dopo che un esame accurato di quel pianeta ha fatto scoprire in esso alcuni cambiamenti, e un sistema di misteriose configurazioni, in cui con un po' di buona volontà si potrebbe congetturare piuttosto il lavoro di esseri intelligenti, anzi che la semplice opera delle forze naturali inorganiche. L'ultima grande apparizione di Marte ha dato origine ad espressioni entusiastiche di tali speranze, specialmente presso i Nord-americani; i quali, possedendo nel loro osservatorio di California il più gran cannocchiale che mai sia stato costrutto, avrebbero tutto il diritto

al vanto di aver scoperto non solo un nuovo mondo, ma anche una nuova umanità. Ma in Francia l'agitazione delle menti ispirata dal Flammarion ha prodotto effetti anche più straordinari; ivi con tutta serietà sono proposte ingenti somme come premio a chi sarà primo a dimostrare, per mezzo della diretta osservazione, che esistono in alcuno degli astri indizi certi di esseri intelligenti. In America poi ed in Francia si sta macchinando la costruzione di nuovi telescopi d'inusata potenza, il costo dei quali si conterà per milioni. Fra tanti segni dei tempi questo almeno ci dà diritto a sperare bene dell'avvenire. L'ansietà con cui molti guardano alle tenebre del futuro non mi sembra in ogni parte giustificata. Non è vero che l'età presente, più delle passate, manchi di elevati principî e di aspirazioni ideali. Il secolo decimonono può considerare con orgoglio quello che ha fatto; il suo posto negli annali del progresso umano non sarà senza gloria. A costo d'incredibili fatiche e di eroici sacrifici esso ha compiuto ormai l'esplorazione di tutta la superficie terrestre, sulle cui carte non restano che poche lacune. Penetrando nelle viscere del nostro pianeta, ha mostrato la storia delle trasformazioni a cui fu soggetto, ed ha rievocato dal loro sepolcro le infinite generazioni che lo popolarono per milioni di anni. Coll'investigazione archeologica, collo studio dell'etnografia e della filologia ha ritrovato i veri titoli di nobiltà del genere umano, e fatto risorgere alla luce del giorno i primi prodotti delle sue civiltà. Con estese associazioni di pazienti e di instancabili osservatori ha iniziato lo studio dell'atmosfera e delle sue leggi, che sarà uno dei grandi problemi del secolo XX. Ma tutto questo non gli è bastato; e dopo aver proseguito energicamente nello studio dei cieli, della materia, e delle forze naturali l'opera dei secoli anteriori e fondata la chimica degli astri, di cui prima pareva follia parlare, ora aspira a più alta meta, e ansiosamenmente comincia a spiare, se qualche voce di simpatia

e di fratellanza non ci possa venire dalle profondità cosmiche; e per ottenerne indizio è pronto a spender per un solo telescopio più somme, di quante ne abbian spese in favore della scienza pura tutti i secoli precedenti insieme considerati. Ecco uno, un solo dei tanti aspetti nobili, moralmente grandiosi, poetici, sotto cui si presenterà alla posterità imparziale quel secolo, che allo spettatore unilaterale sembra essere per eccellenza il secolo della prosa, dell'egoismo, della meccanica brutale, dei godimenti materiali. Noi siamo migliori di quello che crediamo essere! La stessa difficoltà che proviamo ad essere contenti e soddisfatti di noi medesimi, è un segno di progresso e di forza. Ma torniamo al nostro argomento.

II.

Nella scala delle orbite planetarie, la Terra occupa, a partir dal Sole, il terzo posto e Marte il quarto. L'orbita di Marte comprende quindi dentro di sè l'orbita della Terra; ed è di essa più grande nel rapporto di circa 3 a 2. Ambedue le orbite sono di forma leggermente ovale, ma così per l'una come per l'altra la differenza fra il più grande e il più piccolo diametro è relativamente trascurabile: in altre parole, la differenza di queste orbite da un circolo perfetto è assai poca, tanto che occorrerebbero disegni in molto grande scala per renderla sensibile a misure fatte col compasso. Il Sole non si trova nel centro nè dell'una nè dell'altra e questo difetto di centratura è assai maggiore per Marte che per la Terra. La Terra gira intorno al Sole in ragione di 30 chilometri per minuto secondo; Marte in ragione di 24 chilometri. Essendo questi più lento e dovendo percorrere un circolo più grande, impiega, a fare il suo giro completo intorno al Sole,

687 giorni, quasi il doppio dei 365 che impiega la Terra a fare il proprio.

Quindi appare subito manifesta la ragione per cui così di raro Marte rifulge in tutto il suo splendore. Movendosi i due astri intorno al Sole in periodi così differenti, per lo più si troveranno in parti molto distanti dello spazio celeste, e soltanto saranno vicini, quando l'uno e l'altro giaceranno nella medesima direzione a partir dal Sole. Trovandosi allora i tre corpi (Sole, Terra, Marte) in linea retta, e la Terra (come quella

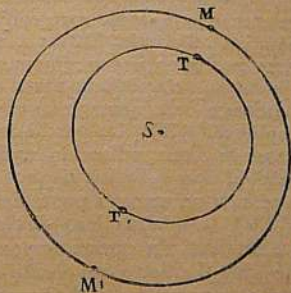



Fig. 16.

che è più vicina al Sole) occupando il posto di mezzo, allo spettatore terrestre Marte ed il Sole appariranno in plaghe opposte del cielo: e questo intendono dire gli astronomi quando parlano di Marte in *opposizione* col Sole. Le epoche adunque in cui Marte si presenta a noi più vicino, sono quelle delle opposizioni, le quali ricorrono ad intervalli di circa ventisei mesi, o 780 giorni.

Ma non in tutte le opposizioni Marte giunge ad avvicinarsi alla Terra in egual misura. Mentre l'orbita della Terra è quasi esattamente centrata sul Sole, quella di Marte è invece notabilmente eccentrica: la

loro proporzione e disposizione può vedersi rappresentata nella figura 16, dove S rappresenta il Sole, il circolo minore è quello della Terra, il maggiore è quello di Marte. Ora si vede subito, che quando i due pianeti si avvicinano fra loro nella parte più serrata dell'intervallo fra le due orbite, la Terra essendo in T e Marte in M, si ha il massimo avvicinamento possibile, siccome (con poca differenza) è accaduto nel 1877 e nel 1892, e di nuovo accadrà nel 1909. Queste, che ricorrono ad intervalli alternati di 15 e di 17 anni, diconsi le *grandi opposizioni*. Marte allora è veramente stupendo a considerare coll'occhio nudo, ma più ancora col telescopio. Tuttavia anche in tale favorevolissima posizione il suo diametro apparente non supera la settantacinquesima parte del diametro apparente del Sole o della Luna: così che occorre un telescopio amplificante 75 volte perchè in esso Marte si presenti come la Luna all'occhio nudo. Ma nelle comuni opposizioni non si arriva neppure a tanto: e quando i due pianeti occupano i punti designati sulla figura con T', M', la minima loro distanza $T'M'$ è quasi doppia della TM. In queste opposizioni meno fortunate il massimo diametro apparente a cui Marte può arrivare non supera $^1/_{150}$ del diametro lunare, ed è necessario amplificarlo 150 volte per vederlo come la Luna ad occhio nudo. La sua superficie apparente e la sua luce sono allora soltanto *il quarto* di quella che si vede nelle grandi opposizioni.

Non conviene dunque illudersi su questi, che abbiam chiamato avvicinamenti di Marte alla Terra; sono vicinanze relative, e la Luna, che pure dista da noi trenta diametri del globo terrestre, ha ancora su Marte un grandissimo vantaggio. Il 2 settembre 1877 e il 6 agosto 1892, giorni delle ultime grandi opposizioni, ebbe luogo la minima distanza possibile del pianeta, che fu di quasi 57 milioni di chilometri e di 146 volte la distanza della Luna. Mentre adunque in questa un telescopio di mediocre potenza è capace

di rilevare montagne, valli, circhi e crateri senza numero ed un'infinità di altri particolari topografici (1), ben altro potere ottico sarà necessario perchè si possano vedere distintamente in Marte anche soltanto le configurazioni delle macchie principali. L'esperienza ha fatto vedere che non è difficile di rilevar nella Luna, col soccorso dei maggiori telescopi, un oggetto rotondeggiante di mezzo chilometro di diametro, o una striscia di 200 metri di larghezza. In Marte si può arrivare a distinguere come punto un oggetto rotondeggiante di 60 a 70 chilometri di diametro, e come linea sottile una striscia di 30 chilometri di larghezza. Il corso di un fiume come il Po sarebbe facile a distinguersi nella Luna su quasi tutta la sua lunghezza, ma nessuno dei maggiori fiumi della Terra riuscirebbe a noi visibile in Marte. E mentre nella Luna una città come Milano (od anche soltanto Pavia) sarebbe già un oggetto ben visibile a noi, in Marte non potremmo sperare di vedere neppure Parigi e Londra, od appena con molta attenzione sarebbe possibile distinguervi isole rotondeggianti della grandezza di Majorca, od isole allungate, grandi come Candia e Cipro.

Non farà dunque meraviglia, che Galileo, i cui telescopi non superarono mai l'amplificazione di 30 diametri, non abbia potuto fare in Marte alcuna scoperta. Primo ad osservare con qualche sicurezza le macchie di questo pianeta fu il celebre Ugenio, che le vide coll'aiuto di telescopi lavorati da lui stesso, assai più perfetti e più grandi di quelli di Galileo (1656-1659). Pochi anni dopo, Domenico Cassini a Bologna (1666) non solo riconobbe diverse macchie, ma dal loro rapido spostarsi sul disco fu condotto a scoprire la rotazione del pianeta intorno ad un asse

(1) La carta lunare di Schmidt, fatta con telescopi di 10 a 15 centimetri, ha due metri di diametro ed in essa son figurati nientemeno che 32.856 crateri.

obliquo, a similitudine della Terra: della qual rotazione definì la durata in 24 ore e 40 minuti. I telescopi usati da Cassini erano lavorati in Roma dal più celebre artefice ottico di quei tempi, Giuseppe Campani, i cui lavori godettero di un incontrastabile primato per quasi cent'anni, fino a che per opera di Short, di Dollond e di Herschel tale vanto passò per qualche tempo all'Inghilterra. E con telescopi di Campani fece Bianchini in Verona nel 1719 i primi disegni alquanto accurati delle macchie di Marte, scoprendo in esse particolari abbastanza difficili, quale per esempio la sottile penisola che nella carta annessa porta il nome di *Hesperia*. Verso la fine del secolo scorso Herschel e Schroeter dallo studio delle candide macchie polari del pianeta dedussero l'obliquità del suo asse di rotazione rispetto al piano dell'orbita, quell'angolo, cioè, che per la Terra costituisce l'obliquità dell'eclittica, ed è poco diverso nell'uno e nell'altro pianeta. Così fu determinato anche per i due emisferi di Marte il corso periodico delle stagioni, e la legge delle variazioni dei climi, che tanta analogia mostrano con le nostre.

Tutte queste osservazioni però non erano sufficienti a dare una descrizione completa della superficie di Marte. Come vero fondatore dell'*Areografia* (1) dobbiamo considerare il tedesco Maedler, il quale nel 1830, valendosi di un perfettissimo telescopio di Fraunhofer (celebre ottico di Monaco, per cui opera il primato della costruzione dei telescopi passò verso il 1820 alla Germania), vide e descrisse le macchie del pianeta incomparabilmente meglio che tutti gli astronomi anteriori. Maedler fu il primo a determinare con misure bene ordinate la posizione di un certo numero di punti principali sulla superficie di Marte rispetto all'equatore e ad un primo meridiano, che è quello

(1) Parola che significa *descrizione di Marte* ed è derivata dal nome greco di questo pianeta, *Ares*, come dal nome greco della Terra è derivato il nome di *Geografia*.

notato zero sull'annessa carta. Ordinando rispetto a questi punti le diverse particolarità topografiche riuscì a costruire la prima carta areografica: la quale, comechè ancora incompleta e necessariamente limitata a poche macchie principali, è tuttavia monumento onorevole della sua cura e diligenza, e rappresenta per la descrizione di Marte quello che 2000 anni fa la carta di Eratostene fu per la geografia terrestre. Questa carta per più di 30 anni fu non soltanto la migliore, ma anzi l'unica; e soltanto verso il 1860 si cominciò a fare nello studio del pianeta qualche progresso ulteriore, specialmente per le osservazioni di Secchi, Dawes, Kaiser, e Lockyer. Da quell'epoca e specialmente a partire dalla grande opposizione del 1862 quei progressi si vennero accelerando, ed a ciò contribuirono non poco i grandissimi telescopi, che negli ultimi tempi gli ottici, specialmente quelli d'America, hanno imparato a costruire (1).

Dalla comparazione di tutte le nuove ed antiche osservazioni risultò come primo fatto importante, che la forma e disposizione delle macchie del pianeta è invariabile nei suoi tratti principali, com'è sulla Terra la distribuzione dei mari e della parte asciutta. Noi possiamo, per esempio, riconoscere nei disegni di Ugenio (1659) il golfo appellato *Gran Sirte* (vedi l'annessa carta); nei disegni di Maraldi (1704) il *Mare Cimmerio* e il *Mare delle Sirene*; nei disegni di Bianchini (1719) il *Mare Tirreno* e la penisola *Esperia*. Anche le posizioni dei punti principali determinate da Maedler (1830), da Kaiser (1862) e da me (1877-1879) si accordano fra loro in modo da escludere affatto l'idea di Schroeter, che le macchie di Marte siano nuvole o

---

(1) Una storia completa di tutte le osservazioni fisiche e topografiche fatte su Marte dalla metà del secolo XVII fino al 1892 si ha nell'opera di Flammarion intitolata: *La Planète Mars et ses conditions de habitabilité: synthèse générale de toutes les observations, climatologie, météorologie, aréographie, continents, mers et rivages, eaux et neiges, saisons et variations observées*, illustré de 580 dessins télescopiques et 23 cartes. Paris, 1892, 600 pag. in grande 8°.

formazioni atmosferiche transitorie, come certamente sono quelle di Giove e di Saturno. Marte ha dunque una topografia stabile, come la Terra e la Luna, e per quanto si può sapere, anche Mercurio. Tale stabilità si ravvisa tuttavia per Marte soltanto nelle forme generali, e non si estende agli ultimi particolari. Osservazioni continuate han posto fuor d'ogni dubbio negli ultimi tempi che molte regioni mutano di colore fra certi limiti, secondo la stagione che domina su quei luoghi, e secondo l'inclinazione, con cui sono percossi dai raggi solari. Tali mutazioni di colori hanno certamente luogo anche per molte parti della Terra, e sarebbero visibili ad uno spettatore collocato in Marte. Ma si osserva in questo una cosa, che certamente sulla Terra non ha luogo: i contorni delle grandi macchie possono subire cioè leggiere mutazioni, piccole rispetto alle dimensioni delle macchie stesse, ma pur tuttavia abbastanza grandi da rendersi cospicue anche a noi. Anche questi contorni non sono sempre ugualmente ben definiti. Molte minutissime particolarità si vedono meglio in certe epoche, e men bene in certe altre; e possono da un tempo all'altro anche variar d'aspetto e di forma, senza che tuttavia si possa concepire alcun dubbio sulla loro identità. E finalmente è da notare, che Marte ha un'atmosfera abbastanza densa, ed una propria meteorologia, come sarà spiegato più innanzi. Tutte queste variazioni annunziano un sistema grandioso di processi naturali, che conferisce allo studio di Marte un interesse molto più grande di quello che deriverebbe dal semplice studio topografico di una superficie immutabile ed inerte, come sembra esser quella della Luna. Insomma il pianeta non è un deserto di arido sasso; esso vive, e la sua vita si manifesta alla superficie con un insieme molto complicato di fenomeni, ed una parte di questi fenomeni si sviluppa su scala abbastanza grande per riuscire osservabile agli abitatori della Terra. Vi è in Marte un mondo intiero di cose nuove da studiare,

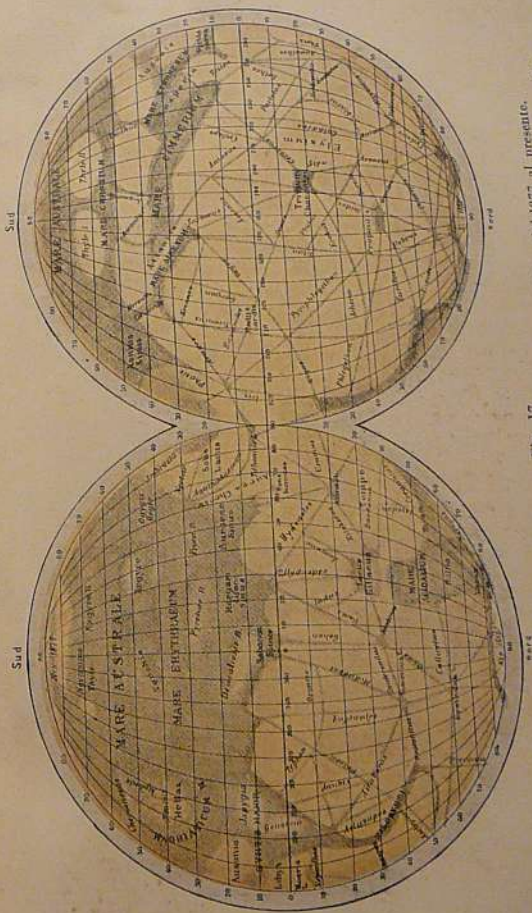



Fig. 17.

Carta generale del Pianeta Marte secondo le osservazioni fatte a Milano dal 1877 al presente.

NB. - Le linee o strisce oscure che solcano i continenti sono in questa carta presentate nel loro stato semplice cioè come appaiono quando non sono geminate.

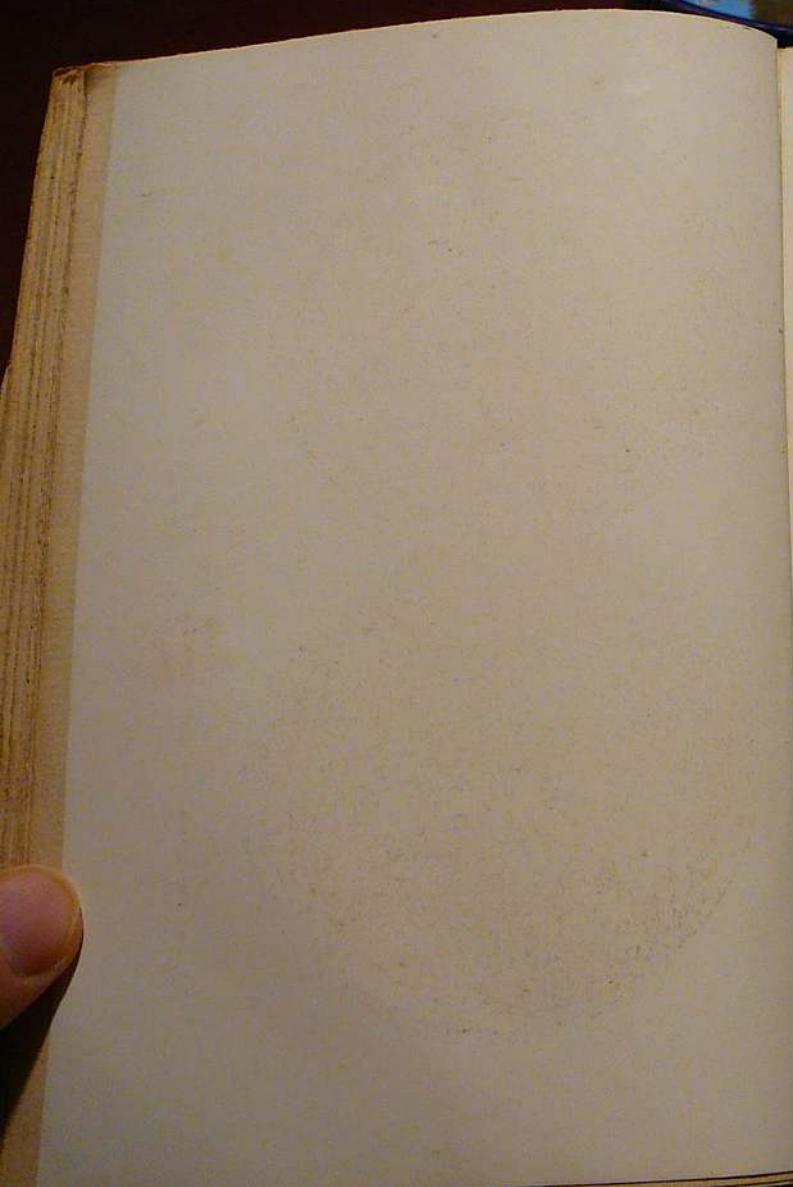
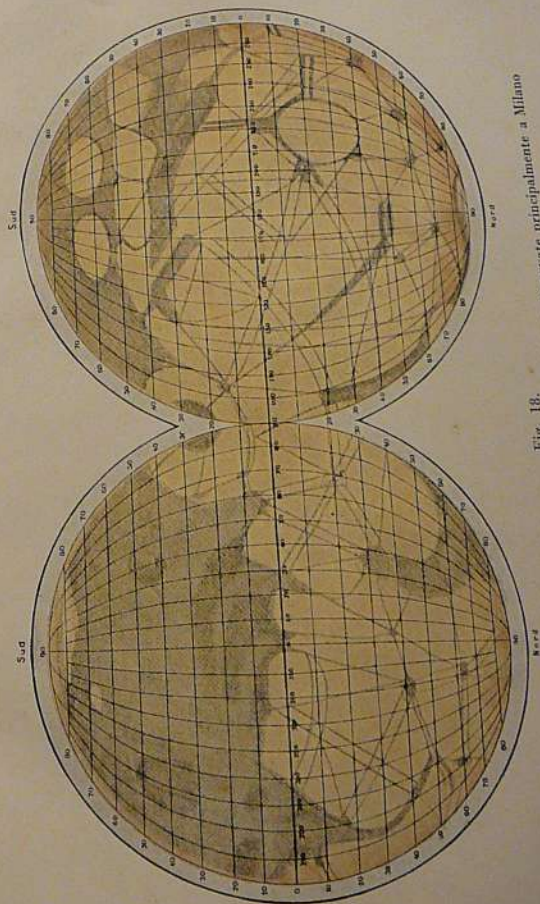



Fig. 18.

Le geminazioni delle linee oscure del Pianeta Marte quali furono osservate principalmente a Milano nel 1882 e nel 1888.

minentemente proprie a destare la curiosità degli osservatori e dei filosofi, le quali daranno da lavorare a molti telescopi per molti anni, e saranno un grande impulso al perfezionamento dell'ottica. Tale è la varietà e la complicazione dei fenomeni, che soltanto uno studio completo e paziente potrà rischiarare le leggi secondo cui quelli si producono, e condurre a conclusioni sicure e definite sulla costituzione fisica di un mondo tanto analogo al nostro sotto certi rispetti, e pur sotto altri tanto diverso.

Non si creda tuttavia di poter accedere a questo studio così attraente senza aiuto ottico proporzionato alla difficoltà della cosa. La sempre grande distanza del pianeta, e la piccolezza relativa (1) del medesimo non permettono di usare con molto frutto amplificazioni inferiori a 200 e 300, nè telescopi di lente obbiettiva inferiore in diametro a 20 centimetri: questo nelle *grandi opposizioni*, come quelle del 1877 e del 1892. Ma nelle opposizioni meno favorevoli (ed in quelle appunto suole Marte dispiegare i suoi fenomeni più curiosi) lo studio dei più delicati particolari non si può far bene con amplificazioni minori di 500 e 600 diametri, quali si possono avere soltanto da telescopi dell'apertura di 40 centimetri o più.

Le due carte annesse (fig. 17 e 18) sono state fatte appunto con istrumenti della forza che ho detto. L'emisfero australe il quale a causa dell'inclinato asse di Marte suole presentarsi meglio alla nostra vista nelle grandi opposizioni, che nelle altre, è stato rilevato principalmente negli anni 1877-1879, con un telescopio di 22 centimetri di apertura. Ma per l'emisfero boreale, che si presenta in prospettiva conveniente soltanto nelle opposizioni meno favorevoli, si

(1) Il suo diametro sta a quello della Terra in rapporto prossimamente di uno a due, o più esattamente di 11:21. Un grado geografico che sul globo della Terra rappresenta 60 miglia di 1852 metri ciascuno, sul globo di Marte rappresenta quasi esattamente 60 chilometri.

è potuto negli anni 1888 e 1890 approfittare di un istrumento molto più grande, il cui vetro obbiettivo ha 49 centimetri di diametro e permette di spingere l'amplificazione di Marte fino a 500 e 650.

Non senza qualche interesse vedrà il lettore rappresentato nell'annessa figura 19 quest'ultimo istrumento, il più potente che sia uscito dalle officine di Germania. La sua collocazione a Brera fu decretata dal Re e dal parlamento nel 1878; ogni volta che lo consideriamo esso richiama a noi la memoria di quell'uomo non facilmente dimenticabile, che fu Quintino Sella, ai cui uffici la Specola di Milano deve questo suo principale ornamento. La lente obbiettiva, lavorata in Monaco da Merz successore di Fraunhofer, ha 49 centimetri di diametro nella parte libera; la macchina che porta il telescopio e permette di dirigere con tutta facilità in cinque minuti la gran mole verso qualunque plaga del cielo, è un vero prodigio della meccanica moderna e fu lavorata in Amburgo dai fratelli Repsold. La sua parte mobile (che son parecchie tonnellate di metallo) può essere mossa dalla pressione di un dito ed aggiustato su qualunque astro colla stessa esattezza che si potrebbe ottenere per il più delicato microscopio. Un meccanismo d'orologio la porta in giro insieme al cielo intorno all'asse del mondo, per guisa, che diretto il telescopio ad un astro, segue di questo la rivoluzione diurna, e l'astro appare immobile nel campo del telescopio per tutto il tempo che si vuole. I molti organi sussidiari, che si veggono nella parte inferiore del tubo a portata dell'osservatore, servono alle diverse specie di operazioni, che con questo strumento si devono compiere.

È questo il massimo dei telescopi esistenti in Italia (1) ma otto o dieci altri di esso maggiori sono stati

(1) Secondo in ordine di grandezza è il telescopio che con esempio degno d'imitazione il Dott. V. Cerulli eresse l'anno scorso a proprie spese nel suo osservatorio privato di Colle Urania presso Teramo (Abruzzi); il diametro della lente obbiettiva è di 40 centimetri.

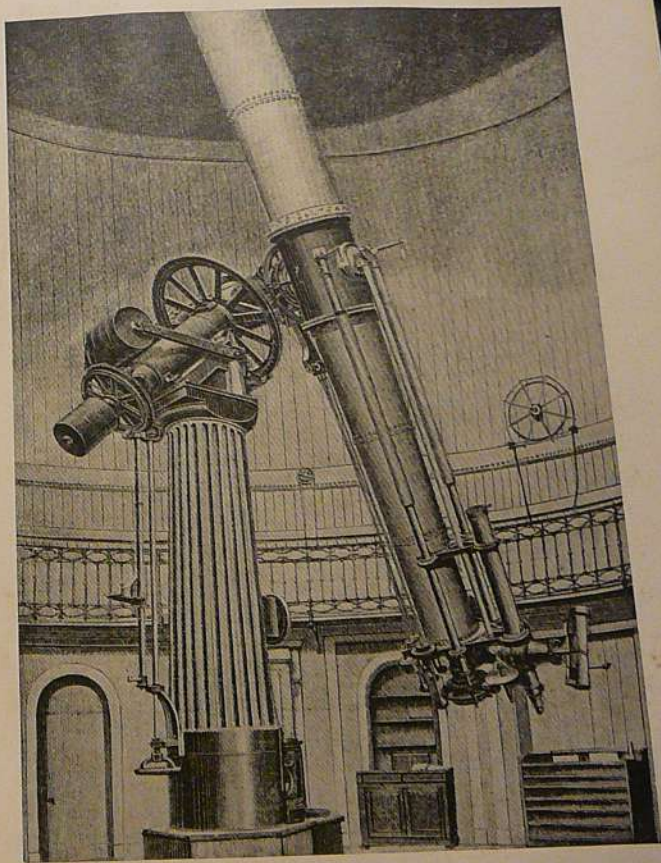



Fig. 19. — Grande Telescopio Equatoriale della Specola di Brera (da una fotografia di A. Trubetzkoy).

costrutti o si stanno costruendo in diverse parti. Fra tutti giganteggia quello dell'osservatorio di California, eretto sulla cima del Monte Hamilton, presso S. Francisco per legato di James Lick, ricco negoziante, che in tal modo volle assicurata presso i posteri la sua memoria. L'obbiettivo di questo colosso dell'ottica moderna ha 91½ centimetri di diametro, e da solo è costato l'egregia somma di 50 mila dollari (275.000 lire a un di presso). Tutto l'istrumento è, nella sua generale disposizione, poco dissimile da quello che qui sopra fu descritto, ma è due volte più grande in ogni dimensione. Ma fra non molto il telescopio californiano sarà superato da un altro, per il quale già si sono fusi i vetri in America: questo avrà non meno di 102 centimetri d'apertura, ed il suo costo è calcolato in 100 mila dollari (1.100.000 lire). E sarà collocato, non già nei climi variabili della nostra zona temperata, e tanto meno poi in mezzo al fumo ed alla luce elettrica di una città grande; ma sopra una mediocre elevazione delle Ande peruviane, in un clima sereno, di aria tranquilla e temperata, benchè posto nella zona torrida.

Quanto al telescopio di tre metri di diametro che si vuol preparare in Francia per l'esposizione del 1900, e sul quale già si è mosso tanto rumore, aspetteremo a parlarne quando sarà fatto. Non ha da essere un telescopio a vetri, come i precedenti, ma un telescopio *riflettore* nel quale la lente obbiettiva sarà surrogata da un grande specchio. Senza dubbio, la maggior facilità e la minore spesa di questa maniera di telescopio permetterà di raggiungere dimensioni molto maggiori che colle lenti di vetro: anzi esistono già in Inghilterra ed in Francia parecchi di tali strumenti da uno a due metri di diametro, i quali prestano utilissimi servizî in molte ricerche e segnatamente in tutte quelle che richiedono gran copia di luce senza molto riguardo alla precisione dell'immagine ottica: per esempio nello studio del calore lunare e nella chimica celeste. Ma

quanto a visione distinta, gli specchi di grande dimensione finora si sono dimostrati troppo inferiori alle lenti di corrispondente potenza: e riguardo all'esplorazione dei mondi planetari non sarà permesso di fondare sul futuro telescopio di Parigi molto grandi speranze.

III.

Già i primi astronomi, che studiarono Marte col telescopio, ebbero occasione di notare sul contorno del suo disco due macchie bianco-splendenti di forma rotondeggiante e di estensione variabile. In progresso di tempo fu osservato, che mentre le macchie comuni di Marte si spostano rapidamente in conseguenza della sua rotazione diurna, mutando in poche ore di posizione e di prospettiva, quelle due macchie bianche rimangono sensibilmente immobili al loro posto. Si concluse giustamente da questo, dover esse occupare i poli di rotazione del pianeta, o almeno trovarsi molto prossime a quei poli. Perciò furono designate col nome di macchie o calotte polari. E non senza fondamento si è congetturato, dover esse rappresentare per Marte quelle immense congerie di nevi e di ghiacci, che ancor oggi impediscono ai navigatori di giungere ai poli della Terra. A ciò conduce non solo l'analogia d'aspetto e di luogo, ma anche un'altra osservazione importante.

Come è noto dai principî di cosmografia, l'asse della Terra è inclinato sul piano dell'orbe che essa descrive intorno al Sole; l'equatore pertanto non coincide col piano di detto orbe, ma è inclinato rispetto ad esso piano dell'angolo di 23½ gradi, detto l'obliquità dello zodiaco o dell'eclittica. Ed è noto pure, come da questa semplice e quasi accidentale circostanza tragga origine una varietà di fatti, che sono del più grande influsso sui climi dei diversi paesi, pro-

ducendo l'estate e l'inverno, e la diversa durata dei giorni e delle notti. Ora lo stesso precisamente avviene in Marte. Il suo equatore è inclinato rispetto al piano dell'orbita di quasi 25 gradi; e da tal disposizione ha origine la stessa vicenda delle stagioni e dell'irradiamento solare, la stessa varietà di climi e di giorni, che ha luogo sulla Terra. Marte ha dunque le sue zone climatiche, i suoi equinozi e i suoi solstizi, e simili vicende d'illuminazione. Per quanto concerne la durata dei giorni e delle notti il parallelismo è quasi completo nella zona torrida e nelle temperate: perchè mentre il giorno terrestre solare è di 24 ore, il giorno solare di Marte è di 24 ore e quaranta minuti prossimamente. Circa l'andamento delle stagioni e delle lunghe giornate e notti del polo vi è questa differenza, che le nostre stagioni durano tre mesi ciascuna, quelle di Marte hanno una durata poco men che doppia, di 171 giorni in media: e i giorni e le notti del polo, che presso di noi sono di sei mesi a un dipresso in Marte durano per un medio undici mesi (1). Tal differenza è dovuta a questo principalmente, che l'anno di Marte è di 687 giorni terrestri, mentre il nostro è di soli 365.

Così stando le cose, è manifesto, che se le suddette macchie bianche polari di Marte rappresentano nevi e ghiacci, dovranno andar decrescendo di ampiezza col sopravvenire dell'estate in quei luoghi, ed accrescersi durante l'inverno. Or questo appunto si osserva nel modo più evidente. Nel secondo semestre dell'anno decorso 1892 fu in prospetto la calotta del polo au-

---

(1) Riferendoci tanto per Marte, che per la Terra, all'emisfero boreale, abbiamo le seguenti durate esatte delle stagioni in giorni terrestri:

	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
Per la Terra giorni	93	93	90	89
Per Marte »	199	182	146	160

L'illuminazione del polo boreale di Marte dura quindi continua per 381 giorni; quella del polo australe per 306 giorni; delle notti accade l'inverso.

strale: durante quell'intervallo, e specialmente nei mesi di luglio e d'agosto, anche osservando con cannocchiali affatto comuni, era chiarissima di settimana in settimana la sua rapida diminuzione; quelle nevi (ora ben possiamo chiamarle tali), che da principio giungevano fino al 70° parallelo di latitudine, e formavano una calotta di oltre 2000 chilometri di diametro, si vennero progressivamente ritraendo al punto, che due o tre mesi dopo pochissimo più ne rimaneva, una estensione di forse 300 chilometri al maximum; e anche meno se ne vede adesso, negli ultimi giorni del 1892. In questi mesi l'emisfero australe di Marte ebbe la sua estate; il solstizio estivo essendo avvenuto il 13 ottobre. Corrispondentemente ha dovuto accrescersi la massa delle nevi intorno al polo boreale; ma il fatto non fu osservabile, trovandosi quel polo nell'emisfero di Marte opposto a quello che riguarda la Terra. Lo squagliarsi delle nevi boreali è stato invece osservabile negli anni 1882, 1884, 1886.

Queste osservazioni del crescere e decrescere alterno delle nevi polari, abbastanza facili anche con cannocchiali di mediocre potenza, diventano molto più interessanti ed istruttive, quando se ne seguano assiduamente le vicende nei più minuti particolari, usando di strumenti maggiori. Si vede allora lo strato nevoso sfaldarsi successivamente agli orli; buchi neri e larghe fessure formarsi nel suo interno; grandi pezzi isolati, lunghi e larghi molte miglia staccarsi dalla massa principale, e sparire sciogliendosi poco dopo. Si vedono insomma presentarsi qui d'un colpo d'occhio quelle divisioni e quei movimenti dei campi ghiacciati, che succedono durante l'estate delle nostre regioni artiche secondo le descrizioni degli esploratori.

Le nevi australi offrono questa particolarità, che il centro della loro figura irregolarmente rotondeggiante non cade proprio sul polo, ma in un altro punto, che è sempre press'a poco il medesimo, e dista dal polo di circa 300 chilometri nella direzione del *Mare Eritreo*

Da questo deriva, che quando l'estensione delle nevi è ridotta ai minimi termini, il polo australe di Marte ne rimane scoperto; e quindi forse il problema di raggiungerlo è su quel pianeta più facile che sulla Terra. Le nevi australi sono in mezzo di una gran macchia oscura che colle sue ramificazioni occupa circa un terzo di tutta la superficie di Marte, e si suppone rappresenti l'oceano principale di esso. Se questo è, l'analogia con le nostre nevi artiche ed antartiche si può dire completa, e specialmente colle antartiche.

La massa delle nevi boreali di Marte è invece centrata quasi esattamente sul polo; essa è collocata nelle regioni di color giallo, che soglionsi considerare come i continenti del pianeta. Da ciò nascono fenomeni singolari, che non hanno sulla Terra alcun confronto. Allo squagliarsi delle nevi accumulate su quel polo durante la lunghissima notte di dieci mesi e più, le masse liquide prodotte in tale operazione si diffondono sulla circonferenza della regione nevata, convertendo in mare temporaneo una larga zona di terreno circostante; e, riempiendo tutte le regioni più basse, producono una gigantesca inondazione, la quale ad alcuni osservatori diede motivo di supporre in quella parte un altro oceano, che però in quel luogo non esiste, almeno come mare permanente. Vedesi allora (l'ultima occasione a ciò opportuna fu nel 1884) la macchia bianca delle nevi circondata da una zona oscura, la quale segue il perimetro delle nevi nella loro progressiva diminuzione, e va con esso restringendosi sopra una circonferenza sempre più angusta. Questa zona si ramifica dalla parte esterna con strisce oscure, le quali occupano tutta la regione circostante, e sembrano essere i canali distributori, per cui le masse liquide ritornano alle loro sedi naturali. Nascono in quelle parti laghi assai estesi, come quello segnato sulla carta col nome di *Lacus Hyperboreus*; il vicino mare interno detto *Mare Acidalio*, diventa più nero e più appariscente. Ed è a ritenere come cosa assai proba-

bile, che lo scolo di queste nevi liquefatte sia la causa che determina principalmente lo stato idrografico del pianeta, e le vicende che nel suo aspetto periodicamente si osservano. Qualche cosa di simile si vedrebbe sulla Terra, quando uno dei nostri poli venisse a collocarsi subitamente nel centro dell'Asia o dell'Africa. Come stanno oggi le cose, possiamo trovare un'immagine microscopica di questi fatti nel gonfiarsi che si osserva dei nostri torrenti allo sciogliersi dei nevai alpini.

I viaggiatori delle regioni artiche hanno frequente occasione di notare, come lo stato dei ghiacci polari nel principio della state, ed ancor al principio di luglio, è sempre poco favorevole al progresso dei viaggiatori; la stagione migliore per le esplorazioni è nel mese di agosto, e settembre è il mese, in cui l'ingombro dei ghiacci è minimo. Così pure nel settembre sogliono essere le nostre Alpi più praticabili che in ogni altra epoca. E la ragione ne è chiara; lo scioglimento delle nevi richiede tempo; non basta l'alta temperatura, bisogna che essa continui, ed il suo effetto sarà tanto maggiore, quanto più prolungato. Se quindi noi potessimo rallentare il corso delle stagioni, così che ogni mese durasse sessanta giorni invece di trenta; nell'estate in tal modo raddoppiata lo scioglimento dei ghiacci progredirebbe molto di più e forse non sarebbe esagerazione il dire che la calotta polare al fine della calda stagione andrebbe intieramente distrutta. Ma non si può dubitare ad ogni modo, che la parte stabile di tale calotta sarebbe ridotta a termini molto più angusti che oggi non si veda. Ora questo appunto succede in Marte. Il lunghissimo anno quasi doppio del nostro permette ai ghiacci di accumularsi durante la notte polare di 10 o 12 mesi in modo, da scendere sotto forma di strato continuo fino al parallelo 70° ed anche più basso; ma nel giorno che segue di 12 o 10 mesi il Sole ha tempo di liquefare tutta o quasi tutta quella neve di recente formazione, riducendola

a sì poca estensione da sembrare a noi nulla più che un punto bianchissimo. E forse tali nevi si struggono intieramente, ma di questo finora non si ha alcuna sicura osservazione.

Altre macchie bianche di carattere transitorio e di disposizione meno regolare si formano sull'emisfero australe nelle isole vicine al polo; e così pure nell'emisfero opposto regioni biancheggianti appaiono talvolta intorno al polo boreale fino al 50° e 55° parallelo. Sono forse nevicate effimere, simili a quelle che si osservano nelle nostre latitudini. Ma anche nella zona torrida di Marte si vedono talora piccolissime macchie bianche più o meno persistenti, fra le quali una fu da me veduta in tre opposizioni consecutive (1877-1892) nel punto segnato sui nostri planisferi dalla longitudine 268° e dalla latitudine 16° nord. Forse è permesso congetturare in questi luoghi la esistenza di montagne capaci di nutrire vasti ghiacciai. L'esistenza di tali montagne è stata supposta anche da alcuni recenti osservatori, sul fondamento di altri fatti.

Quanto si è narrato delle nevi polari di Marte prova in modo incontrastabile, che questo pianeta, come la Terra, è circondato da un'atmosfera capace di trasportar vapori da un luogo all'altro. Quelle nevi infatti sono precipitazioni di vapori condensati dal freddo e colà successivamente portati; ora come portati, se non per via di movimenti atmosferici? L'esistenza di un'atmosfera carica di vapori è stata confermata anche dalle osservazioni spettrali, principalmente da quelle di Vogel; secondo il quale tale atmosfera sarebbe di composizione poco diversa dalla nostra, e sopratutto molto *ricca di vapore acqueo*. Fatto questo sommamente importante, perchè ci dà il diritto di affermare, con molta probabilità, che d'acqua e non d'altro liquido siano i mari di Marte e le sue nevi polari. Quando sarà assicurata sopra ogni dubbio questa conclusione, un'altra ne discenderà non meno grave; che le temperature dei climi marziali, mal-

grado la maggior distanza dal Sole, sono del medesimo ordine che le temperature terrestri. Perchè se fosse vero quanto fu supposto da alcuni investigatori, che la temperatura di Marte sia in media molto bassa (di 50° a 60° sotto zero!) non potrebbe più il vapor acqueo essere uno degli elementi principali dell'atmosfera di Marte, nè potrebbe l'acqua essere uno dei fattori importanti delle sue vicende fisiche; ma dovrebbe lasciare il luogo all'acido carbonico o ad altro liquido, il cui punto di congelazione sia molto basso.

Gli elementi della meteorologia di Marte sembrano dunque aver molta analogia con quelli della meteorologia terrestre. Non mancano però, come è da aspettarsi, le cause di dissomiglianza. Anche qui, da circostanze di piccol momento trae la Natura un'infinita varietà nelle sue operazioni. Di grandissima influenza dev'esser la diversa maniera, con cui in Marte e sulla Terra veggonsi ordinati i mari ed i continenti; su di che uno sguardo alla carta dice più che non si farebbe con molte parole. Già abbiamo accennato al fatto delle straordinarie inondazioni periodiche, che ad ogni rivoluzione di Marte ne allagano le regioni polari boreali allo sciogliersi delle nevi: aggiungeremo ora, che queste inondazioni diramate a grandi distanze per una rete di numerosi canali, forse costituiscono il meccanismo principale (se non unico) per cui l'acqua (e con essa la vita organica) può diffondersi sulla superficie asciutta del pianeta. Perchè infatti su Marte piove molto raramente, *o forse anche non piove affatto*. Ed eccone la prova.

Portiamoci coll'immaginazione nello spazio celeste, in un punto distante dalla Terra, così da poterla abbracciare d'un sol colpo d'occhio. Molto andrebbe errato colui, che sperasse veder di là riprodotta in grande scala la immagine dei nostri continenti coi loro golfi ed isole e coi mari che li circondano, quale si vede nei nostri globi artificiali. Qua e là senza dubbio si vedrebbero trasparire sotto un velo vaporoso le

note forme, o parti di esse. Ma una buona parte (forse la metà) della superficie sarebbe fatta invisibile da immensi campi di nuvole, continuamente variabili di densità, di forma e di estensione. Tale ingombro, più frequente e più continuato nelle regioni polari, impedirebbe ancora per circa la metà del tempo, la vista delle regioni temperate, distribuendosi su di esse in capricciose e perpetuamente variate configurazioni; sui mari della zona torrida si vedrebbe disposto in lunghe fasce parallele, corrispondenti alle zone delle calme equatoriali e tropicali. Per uno spettatore posto nella Luna, lo studio della nostra geografia non sarebbe un'impresa tanto semplice, quanto si potrebbe immaginare.

Nulla di questo in Marte. In ogni clima e sotto ogni zona la sua atmosfera è quasi perpetuamente serena e trasparente abbastanza per lasciar riconoscere a qualunque momento i contorni dei mari e dei continenti, e per lo più anche le configurazioni minori. Non già che manchino vapori di un certo grado di opacità; ma ben poco impedimento danno essi allo studio della topografia del pianeta. Qua e là vedonsi comparire di quando in quando alcune chiazze biancastre, mutar di posizione e di forma, di raro estendersi sopra aree alquanto ampie; esse prediligono di preferenza alcune regioni, come le isole del Mare Australe e sui continenti le parti segnate sulla carta coi nomi di *Elysium* e di *Tempe*. Il loro candore generalmente diminuisce e scompare nelle ore meridiane del luogo, e si rinforza la mattina e la sera con vicenda molto spiccata. È possibile che siano strati di nuvole, perchè così bianche appaiono pure le nubi terrestri nella parte superiore illuminata dal Sole. Però diverse osservazioni conducono a pensare, che si tratti piuttosto di sottili veli di nebbia, anzichè di veri nembi apportatori di temporali e di piogge: se pure non sono temporanee condensazioni di vapore sotto forma di rugiada o di brina.

Adunque, per quanto è lecito argomentare dalle cose osservate, il clima di Marte nel suo generale complesso dovrebbe rassomigliare a quello delle giornate serene nelle alte montagne. Di giorno un'insolazione fortissima, quasi punto mitigata da nuvole o da vapori; di notte una copiosa irradiazione del suolo verso lo spazio celeste, e quindi un grande raffreddamento. Da ciò un clima eccessivo e grandi sbalzi di temperatura dal giorno alla notte e da una stagione all'altra. E come sulla Terra ad altezze di 5000 e 6000 metri i vapori dell'atmosfera più non si condensano che sotto forma solida, formando quelle masse biancastre di diacciuoli sospesi, che si chiamano *cirri*; così nell'atmosfera di Marte saranno raramente possibili (od anche non saranno possibili) vere agglomerazioni di nuvole capaci di dar luogo a piogge di qualche momento. Lo squilibrio di temperatura fra una stagione ed un'altra sarà poi accresciuto dalla lunga durata delle medesime; e così si comprende la grande coagulazione e dissoluzione di nevi che si rinnova intorno ai poli ad ogni rivoluzione compiuta dal pianeta intorno al Sole.

IV.

Come le nostre carte dimostrano (1), nella sua generale topografia Marte non presenta alcuna analogia colla Terra. Un terzo della sua superficie è occupato dal gran Mare Australe, che è sparso di molte isole, e

(1) Son fatte queste carte secondo le solite convenzioni dei mappamondi in due emisferi, usando la proiezione detta *omalografica*. Presentano il pianeta invertito, come si vede nei cannocchiali astronomici; per tal ragione vedesi in basso il polo Nord, in alto il polo Sud. Coll'inversione del foglio si ottiene la consueta orientazione convenzionale delle carte terrestri.

spinge entro ai continenti golfi e ramificazioni di varia forma: al suo sistema appartiene un'intiera serie di piccoli mari interni, dei quali l'*Adriatico* ed il *Tirreno* comunicano con esso con ampie bocche, mentre il *Cimmerio*, quello *delle Sirene*, e il *Lago del Sole* non hanno con esso relazione che per mezzo di angusti canali. Si noterà nei quattro primi una disposizione parallela, che certo non è accidentale, come pure non senza ragione è la corrispondente positura delle penisole *Ausonia*, *Esperia* ed *Atlantide*. Il colore dei mari di Marte è generalmente bruno misto di grigio, non sempre però di uguale intensità in tutti i luoghi, nè nel medesimo luogo è uguale in ogni tempo. Dal nero completo si può scendere al grigio chiaro ed al cinereo. Tal diversità di colore può aver origine da varie cause, e non è senza analogia anche sulla Terra, dove è noto che i mari delle zone calde sogliono essere più oscuri che i mari più vicini al polo. Le acque del Baltico, per esempio, hanno un color luteo chiaro, che non si osserva nel Mediterraneo. E così pure nei mari di Marte si vede il colore farsi più cupo quando il sole si avvicina alla loro verticale e l'estate comincia a dominare in quelle regioni.

Tutto il resto del pianeta fino al polo Nord è occupato dalle masse dei continenti, nelle quali, salvo alcune aree di estensione relativamente piccola, predomina il colore aranciato, che talvolta sale al rosso più cupo, altre volte scende al giallo ed al biancastro. La varietà di questa colorazione è in parte d'origine meteorica, in parte può dipendere dalla diversa natura del suolo, e sulle sue cause ancora non è possibile appoggiare ipotesi molto fondate. Neppure è nota la causa di questo predominio delle tinte rosse e gialle sulla superficie del vecchio *Pyrois*. Alcuno ha creduto di attribuire questa colorazione all'atmosfera del pianeta, attraverso alla quale si vedrebbe colorata la superficie di Marte, come rosso diventa un oggetto terrestre qualsiasi, veduto a traverso vetri di

tal colore. Ma a ciò si oppongono più fatti, fra gli altri questo, che le nevi polari appaiono sempre del bianco più puro, benchè i raggi di luce da esse derivati attraversino due volte l'atmosfera di Marte sotto una grande obliquità. Noi dobbiamo dunque concludere che i continenti marziali ci appaiono rossi e gialli, perchè tali veramente sono.

Oltre a queste regioni oscure e luminose, che noi abbiamo qualificato per mari e continenti, e la cui natura ormai non lascia luogo che a poco dubbio, alcune altre ne esistono, veramente poco estese, di natura anfibia, le quali talvolta ingialliscono e sembrano continenti, in altri tempi vestono il bruno (anche il nero in certi casi) e assumono l'apparenza dei mari; mentre in altre epoche la loro colorazione intermedia lascia dubitare a qual classe di regioni esse appartengono. Quasi tutte le isole sparse nel Mare Australe e nel Mare Eritreo appartengono a questa categoria, così pure le lunghe penisole chiamate *Regioni di Deucalione e di Pirra*, e in contiguità del Mare Acidalio le regioni segnate coi nomi di *Baltia* e di *Nerigos*. L'idea più naturale e più conforme all'analogia sembra quella di supporre in esse vaste lagune, su cui variando le profondità dell'acqua si produca la diversità del colore, predominando il giallo in quelle parti dove la profondità del velo liquido è ridotta a poco od anche a niente, e il colore bruno più o meno scuro nei luoghi dove le acque sono tanto alte da assorbire molta luce e da rendere più o meno invisibile il fondo. Che l'acqua del mare o qualsiasi acqua profonda e trasparente veduta dall'alto appaia tanto più oscura quanto maggiore è l'altezza dello strato liquido, e che le terre in confronto di esse appaiono chiare sotto l'illuminazione del Sole, è cosa nota e confermata da certissime ragioni fisiche. Chi viaggia nelle Alpi spesso ha occasione di convincersene, vedendo dalle cime neri come l'inchiostro stendersi sotto i suoi piedi i profondi laghetti di cui sono seminate, in con-

fronto dei quali luminose appaiono anche le rupi più nereggianti percosse dal Sole (1).

Non senza fondamento adunque abbiamo finora attribuito alle macchie oscure di Marte la parte di mari e quella di continenti alle aree rosseggianti che occupano quasi i due terzi di tutto il pianeta, e troveremo più tardi altre ragioni che confermano tal modo di vedere. I continenti formano nell'emisfero boreale una massa quasi unica e continua, sola eccezione importante essendo il gran lago detto *Mare Acidalio*, del quale l'estensione pare mutarsi secondo i tempi e connettersi in qualche modo colle inondazioni che dicemmo prodotte dallo sciogliersi delle nevi intorno al polo boreale. Al sistema del Mare Acidalio appartiene senza dubbio il lago temporario denominato *Iperboreo* ed il *Lago Niliaco*: quest'ultimo ordinariamente separato dal Mare Acidalio per mezzo di un istmo o diga regolare, la cui continuità soltanto nel 1888 fu vista interrompersi per qualche tempo. Altre macchie oscure minori si trovano qua e là nella parte continentale, le quali potrebbero rappresentare dei laghi, ma non certo laghi permanenti come i nostri; infatti essi sono variabili d'aspetto e di grandezza secondo le stagioni, al punto da scomparire affatto in date circostanze. Il *Lago Ismenio*, quello *della Luna*, il *Trivio di Caronte* e la *Propontide* sono i più cospicui e i più durevoli. Ve ne sono di piccolissimi, quali il lago *Meride* e il *Fonte di Gioventù*, che nella loro maggiore apparenza non superano i 100 o 150 chilometri di diametro e contano fra gli oggetti più difficili del pianeta.

Tutta la vasta estensione dei continenti è solcata

---

(1) Questa osservazione del colore oscuro che mostran le acque profonde vedute dall'alto in basso, si trova già fatta dal *primo pittor delle memorie antiche*, il quale nell'*Iliade* (verso 770-71 del libro V) descrive «la sentinella che dall'alta vedetta stende lo sguardo sopra il mare *color del vino*, οἴνοπα πόντον». Nella versione del Monti l'aggettivo indicante il colore è andato perduto.

per ogni verso da una rete di numerose linee o strisce sottili di color oscuro più o meno pronunziato, delle quali l'aspetto è molto variabile. Esse percorrono sul pianeta spazi talvolta lunghissimi con corso regolare, che in nulla rassomiglia l'andamento serpeggiante dei nostri fiumi; alcune più brevi non arrivano a 500 chilometri, altre invece si estendono a più migliaia, occupando un quarto ed anche talvolta un terzo di tutto il giro del pianeta. Alcuna di esse è abbastanza facile a vedere, e più di tutte quella che è presso l'estremo limite sinistro delle nostre carte, designata col nome di *Nilosyrtis:* altre invece sono estremamente difficili, e rassomigliano a tenuissimi fili di ragno tesi attraverso al disco. Quindi molto varia è altresì la loro larghezza, che può raggiungere 200 od anche 300 chilometri per la Nilosirte, mentre per altre forse non arriva a 30 chilometri.

Queste linee o strisce sono i famosi *canali* di Marte di cui tanto si è parlato. Per quanto si è fino ad oggi potuto osservare, sono certamente configurazioni stabili del pianeta; la Nilosirte è stata veduta in quel luogo da quasi cent'anni, ed alcune altre da trent'anni almeno. La loro lunghezza e giacitura è costante, o non varia che entro strettissimi limiti; ognuna di esse comincia e finisce sempre fra i medesimi termini. Ma il loro aspetto e il loro grado di visibilità sono assai variabili per tutte da un'opposizione ad un'altra, anzi talvolta da una settimana all'altra; e tali variazioni non hanno luogo simultaneamente e con ugual legge per tutte, ma nel più dei casi succedono quasi a capriccio, od almeno secondo regole non abbastanza semplici per essere subito intese da noi. Spesso una o più diventano indistinte od anche affatto invisibili, mentre altre loro vicine ingrossano al punto da diventar evidenti anche in cannocchiali di mediocre potenza. La prima delle nostre carte presenta tutte quelle che sono state vedute in una lunga serie di osservazioni; essa tuttavia non corrisponde all'aspetto

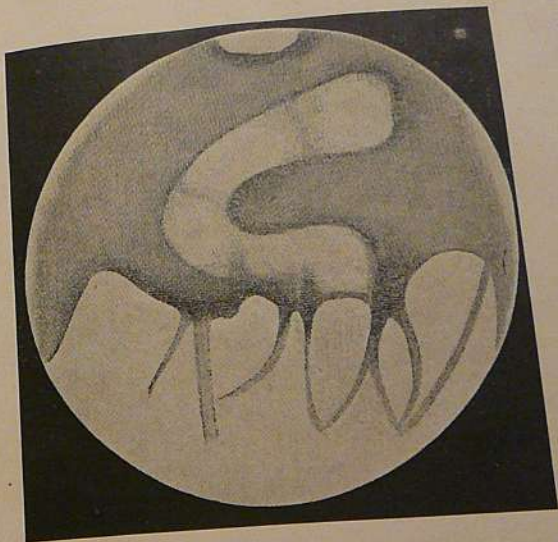
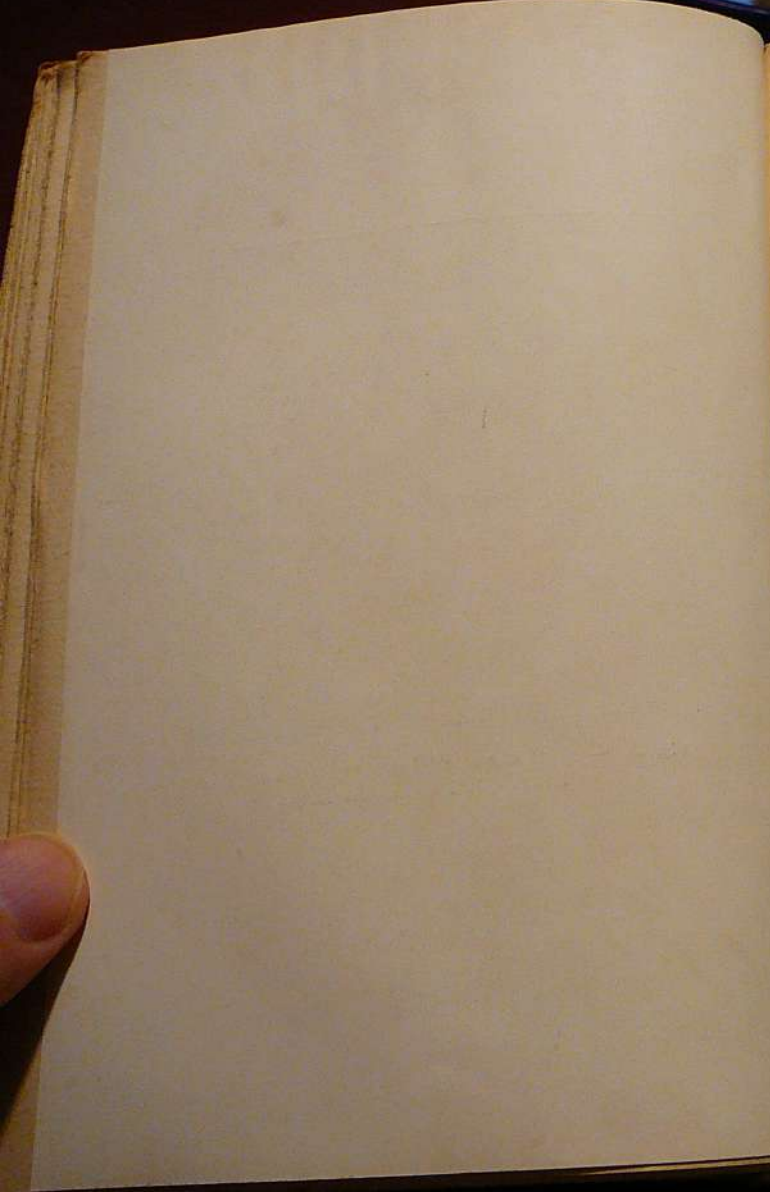



Fig. 20. — Marte osservato col grande telescopio di Brera la sera del 15 settembre 1892.

di Marte in alcuna epoca, perchè generalmente soltanto poche sono visibili di un tratto (1).

Ogni canale (per ora chiamiamoli così) alle sue estremità sbocca o in un mare, od in un lago, od in un altro canale, o nell'intersezione di più altri canali. Non si è mai veduto uno di essi rimaner troncato nel mezzo del continente, rimanendo senza uscita e senza continuazione. Questo fatto è della più alta importanza. I canali possono intersecarsi fra di loro sotto tutti gli angoli possibili; ma di preferenza convergono verso le piccole macchie cui abbiamo dato il nome di

(1) La continua variabilità dei minuti particolari fa sì che una carta di Marte non può mai esser altro che una rappresentazione convenzionale o schematica della superficie del pianeta. Per aver un'idea esatta del suo aspetto fisico, quale si presenta nei telescopi, bisogna ricorrere ai disegni, dei quali molte centinaia si trovano raccolti nell'opera del FLAMMARION, *La Planète Mars*. Un esempio ne dà la fig. 20 la quale è stata disegnata col grande telescopio di Brera nella sera del 15 settembre 1892. L'immagine è rovesciata, quale nel campo telescopico appariva. Il disco di Marte allora non era più rotondo, ma alquanto deficiente a cagione della non diretta illuminazione del Sole; rassomigliava alla Luna due giorni prima del plenilunio. Comparando il disegno colla carta è facile riconoscere in quello la costa molto accidentata del Mare Eritreo, che corre press'a poco lungo l'equatore del pianeta. Molto evidente è il doppio corno del *Golfo Sabeo*, e a destra di esso il *Golfo delle Perle*. Il continente al di sotto dobbiamo immaginarlo giallo brillante; lo si vede solcato da parecchi canali, nei quali non sarà difficile ravvisare il *Phison*, l'*Eufrate*, l'*Oronte*, il *Gehon*, l'*Indo*, l'*Idaspe* e la *Iamuna*. L'Eufrate dava sospetto di esser duplicato. In alto del disco il *Mare Eritreo* e il *Mare Australe* appaiono divisi da una grande penisola curvata a guisa di falce, prodotta da una insolita appariscenza della regione detta di *Deucalione*, la quale si allungò quest'anno fino a raggiungere le isole *Noachide* ed *Argyre*, formando con queste un tutto continuato, con deboli traccie di separazione, sulla lunghezza di quasi 6000 chilometri. Il suo colore, molto meno brillante che quello dei continenti, era un misto del giallo di questi col bruno grigio dei mari contigui. In alto l'ovale chiara deve immaginarsi del bianco più splendido e più puro: rappresenta la calotta delle nevi australi, ridotta alla forma ellittica dallo scorcio della prospettiva, molto obliqua in quel luogo. Perchè non bisogna mai dimenticare che davanti a noi abbiamo, sotto forma d'un disco, la curvatura d'un emisfero.

laghi. Per esempio sette se ne veggono convergere nel *Lago della Fenice*, otto nel *Trivio di Caronte*, sei nel *Lago della Luna*, sei nel *Lago Ismenio*.

L'aspetto normale di un canale è quello di una striscia quasi uniforme, nera o almeno di colore oscuro simile a quello dei mari, in cui la regolarità del generale andamento non esclude piccole diversità di larghezza e piccole sinuosità nei due contorni laterali. Spesso avviene che tal filetto oscuro, mettendo capo al mare, si allarghi in forma di tromba, formando una vasta baia, simile agli estuari di certi fiumi terrestri: il *Golfo delle Perle*, il *Golfo Aonio*, il *Golfo dell'Aurora*, e i due corni del *Golfo Sabeo* sono così formati dalla foce di uno o più canali sboccanti nel Mar Eritreo o nel Mar Australe. L'esempio più grandioso di tali golfi è la *Gran Sirte*, formata dalla vastissima foce della *Nilosirte* già nominata; questo golfo non ha manco di 1800 chilometri di larghezza e quasi altrettanti di profondità nel senso longitudinale e la sua superficie è di poco minore che quella del golfo di Bengala. In questi casi si vede manifestamente la superficie oscura del mare continuarsi senza apparente interruzione in quella del canale; quindi, ammesso che le superficie chiamate mari siano veramente espansioni liquide, non si può dubitare che i canali siano di esse un semplice prolungamento a traverso delle aree gialle o dei continenti.

Che del resto le linee dette *canali* siano veramente grandi solchi o depressioni della superficie del pianeta destinate al passaggio di masse liquide, e costituiscano su di esso un vero sistema idrografico, è dimostrato dai fenomeni che in quelli si osservano durante lo struggersi delle nevi boreali. Già dicemmo che queste, nello sciogliersi appaiono circondate da una zona oscura, formante una specie di mare temporario. In tale epoca i canali delle regioni circostanti si fanno più neri e più larghi, ingrossando al punto da ridurre, in un certo momento, ad isole di poca estensione tutte

le aree gialle comprese fra l'orlo della neve e il 60° parallelo nord. Tale stato di cose non cessa, se non quando le nevi, ridotte ormai al loro minimo di estensione, cessano di struggersi. Si attenuano allora le larghezze dei canali, scompare il mare temporario, e le aree gialle riprendono l'estensione primitiva. Le diverse fasi di questa grandiosa operazione si rinnovano ad ogni giro di stagioni ed i loro particolari si son potuti osservare con molta evidenza nelle opposizioni 1882, 1884, 1886, quando il pianeta presentava allo spettatore terrestre il suo polo boreale. L'interpretazione più naturale e più semplice è quella che abbiam riferito, di una grande inondazione prodotta dallo squagliarsi delle nevi; essa è intieramente logica, e sostenuta da evidenti analogie con fenomeni terrestri. Concludiamo pertanto, che i canali son tali di fatto, e non solo di nome. La rete da essi formata probabilmente fu determinata in origine dallo stato geologico del pianeta, e si è venuta lentamente elaborando nel corso dei secoli. Non occorre suppor qui l'opera di esseri intelligenti; e malgrado l'apparenza quasi geometrica di tutto il loro sistema, per ora incliniamo a credere che essi siano prodotti dall'evoluzione del pianeta, appunto come sulla Terra il canale della Manica e quello di Mozambico.

Sarà un problema non men curioso che complicato e difficile lo studiare il regime di questi immensi corsi d'acqua, da cui forse dipende principalmente la vita organica sul pianeta, dato che vita organica vi sia. Le variazioni del loro aspetto dimostrano che questo regime non è costante: quando scompaiono o lasciano di loro tracce dubbie e mal definite è lecito supporre, che siano in magra, od asciutti affatto. Allora nel luogo dei canali rimane o niente, oppure al più una striscia di colore giallastro poco diverso dal fondo circostante. Talvolta prendono un aspetto nebuloso, di cui per ora non si saprebbe assegnar la ragione. Altre volte invece producono veri allagamenti, espan-

dendosi a 100, 200 o più chilometri di larghezza, e questo avviene anche per canali molto lontani dal polo boreale secondo norme fin qui sconosciute. Così è avvenuto dell'*Idaspe* nel 1864, del *Simoenta* nel 1879, dell'*Acheronte* nel 1884, del *Tritone* nel 1888. Lo studio diligente e minuto delle trasformazioni di ciascun canale condurrà più tardi a conoscere le cause di questi fatti.

Ma il fenomeno più sorprendente dei canali di Marte è la loro *geminazione;* la quale sembra prodursi principalmente nei mesi che precedono e in quelli che seguono la grande inondazione boreale, intorno alle epoche degli equinozi. In conseguenza di un rapido processo, che certamente dura pochissimi giorni, od anche forse solo poche ore, e del quale i particolari non si sono ancora potuti afferrare con sicurezza, un dato canale muta d'aspetto e d'un tratto si trova trasformato su tutta la sua lunghezza in due linee o strisce uniformi, per lo più parallele fra di loro, che corrono dritte ed uguali, con tracciamento geometricamente tanto esatto, quanto suole essere presso di noi quello di due rotaie di ferrovia. Ma questo esatto andamento è il solo termine di rassomiglianza colle dette rotaie: perchè nelle dimensioni non vi è alcun paragone possibile, come del resto è facile immaginare. Le due linee seguono a un dipresso la direzione del primitivo canale, e terminano nei luoghi dov'esso terminava. L'una di esse spesso si sovrappone quanto più è possibile all'antica linea, l'altra essendo di nuovo tracciamento; ma anche in questo caso l'antica linea perde tutte le piccole irregolarità e curvature che poteva avere. Ma accade ancora, che ambe le linee geminate occupino dalle due parti dell'ex canale un terreno interamente nuovo. La distanza fra le due linee è diversa nelle diverse geminazioni, e da 600 chilometri e più scende fino all'ultimo limite, in cui due linee possono apparir separate nei grandi occhi telescopici, meno di 50 chilometri d'intervallo; la lar-

ghezza di ciascuna striscia per sè può variare dal limite di visibilità, che supponiamo 30 chilometri, fino a più di 100. Il colore delle due linee varia dal nero ad un rosso scialbo, che appena si distingue dal fondo giallo generale delle superficie continentali; l'intervallo è per lo più di questo giallo, ma in più casi è sembrato bianco. Le geminazioni poi non sono necessariamente legate ai soli canali, ma tendono anche a prodursi sui laghi. Spesso si vede uno di questi trasformarsi in due brevi e larghe liste oscure fra loro parallele, tramezzate da una lista gialla. In questi casi naturalmente la geminazione è breve, e non esce dai limiti del lago primitivo.

Le geminazioni non si manifestano tutte insieme, ma arrivata la loro stagione cominciano a prodursi or qua or là, isolate in modo irregolare, o almeno senza ordine facilmente riconoscibile. Per molti canali mancano affatto (come per la *Nilosirte*, a cagion d'esempio), o sono poco visibili. Dopo aver durato qualche mese, si affievoliscono gradatamente e scompaiono fino ad una nuova stagione egualmente propizia a questo fenomeno. Così avviene che in certe altre stagioni (specialmente presso il solstizio australe del pianeta) se ne vedono poche, od anche non se ne vede affatto. In diverse apparizioni la geminazione del medesimo canale può presentare diversi aspetti quanto a larghezza, intensità e disposizione delle due striscie: anche in qualche caso la direzione delle linee può mutarsi, benchè di pochissima quantità; sempre però deviando di piccolo spazio dal canale con cui è associata strettamente. Da questa importante circostanza si comprende immediatamente, che le geminazioni non possono essere formazioni stabili della superficie di Marte, e di carattere geografico, come i canali. La seconda delle nostre carte può dare un'idea approssimativa dell'aspetto che presentano queste singolarissime formazioni. Essa comprende tutte le geminazioni osservate dal 1882 fino al presente; nel riguar-

darla bisogna tener a mente, che non di tutte l'apparizione è stata simultanea, e che pertanto quella carta non rappresenta lo stato di Marte in nessun'epoca; essa non è che una specie di registro topografico delle osservazioni finora fatte in diversi tempi su quel fenomeno.

L'osservazione delle geminazioni è una delle più difficili, e non può farsi che da un occhio bene esercitato, aiutato da un telescopio di accurata costruzione e di grande potenza. Ciò spiega perchè non siano state vedute prima del 1882. Nei dieci anni trascorsi da quel tempo esse sono state vedute e descritte da otto o dieci osservatori. Nondimeno alcuni ancora negano che siano fenomeni reali e tacciano d'illusione (o anche d'impostura) coloro che affermano d'averle osservate.

Il loro singolare aspetto e l'esser disegnate con assoluta precisione geometrica, come se fossero lavori di riga o di compasso, ha indotto alcuni a ravvisare nelle medesime l'opera di esseri intelligenti, abitatori del pianeta. Io mi guarderò bene dal combattere questa supposizione, la quale nulla include d'impossibile. Notisi però che in ogni caso non potrebbero essere opere di carattere permanente, essendo certo, che una stessa geminazione può cambiare di aspetto e di misura da una stagione all'altra. Si possono tuttavia assumere opere tali, da cui una certa variabilità non sia esclusa, per esempio, lavori estesi di coltura e di irrigazione su larga scala. Aggiungerò ancora, che l'intervento di esseri intelligenti può spiegare l'apparenza geometrica delle geminazioni, ma non è punto necessario a tale intento. La geometria della Natura si manifesta in molti altri fatti, dai quali è esclusa l'idea di un lavoro artificiale qualunque. Gli sferoidi così perfetti dei corpi celesti e l'anello di Saturno non furon lavorati al tornio, e non è col compasso che Iride descrive nelle nubi i suoi archi così belli e così regolari; e che diremo delle infinite varietà di bellissimi e regolarissimi poliedri onde è ricco il mondo dei cri-

stalli? E nel mondo organico, non è geometria bella e buona quella che presiede alla distribuzione delle foglie di certe piante, che ordina in figure stellate così simmetriche tanti fiori del prato, tanti animali del mare; che produce nelle conchiglie quelle spirali coniche così eleganti, da disgradarne ciò che di più bello ha fatto l'architettura gotica? In tutte queste cose le forme geometriche sono conseguenze semplici e necessarie di principî e di leggi che governano il mondo fisico e fisiologico. Che poi questi principî e queste leggi siano esplicazioni di una potenza intelligente superiore, possiamo ammetterlo; ma ciò nulla fa al presente argomento.

In omaggio dunque al principio, che nella spiegazione dei fatti naturali convenga sempre cominciare dalle supposizioni più semplici, le prime ipotesi proposte sulla natura e sulla causa delle geminazioni hanno per lo più messo in opera solamente le azioni della natura inorganica. Sono o effetti di luce nell'atmosfera di Marte, o illusioni ottiche prodotte da vapori in vario modo, o fenomeni glaciali d'un inverno perpetuo a cui sarebbe condannato tutto il pianeta, o crepature raddoppiate nella superficie di esso, o crepature semplici, di cui si duplica l'immagine per effetto di fumo eruttato su lunghe linee e spostato lateralmente dal vento. L'esame di questi ingegnosi tentativi conduce tuttavia a concludere che nessuno di essi sembra corrispondere per intiero ai fatti osservati nel loro insieme e nei particolari. Alcune di tali ipotesi non sarebbero neppur nate, se i loro autori avessero potuto esaminare le geminazioni coi propri occhi. Che se alcuno di questi, ragionando *ad hominem*, mi domandasse: sapete voi immaginar qualche cosa di meglio? risponderei candidamente di no.

Più facile sarebbe il compito, se volessimo introdurre forze appartenenti alla natura organica. Qui è immenso il campo delle supposizioni plausibili, potendosi immaginare infinite combinazioni capaci di

soddisfare alle apparenze, anche con piccoli e semplici mezzi. Vicende di vegetazione su vaste aree e generazioni d'animali anche minimi in enorme moltitudine potrebbero benissimo rendersi visibili a tanta distanza. A quel modo che un osservatore posto nella Luna potrebbe avvedersi delle epoche, in cui sulle nostre vaste pianure succede l'aratura dei campi, il nascere e la messe del frumento; a quel modo che il fiorir dell'erba nelle vastissime steppe dell'Europa e dell'Asia deve rendersi sensibile anche alla distanza di Marte per una varietà di colorazione; così può certamente rendersi visibile a noi un eguale sistema di operazioni che si produca in quegli astri. Ma come difficilmente i Lunari ed i Marziali potrebbero immaginare le vere cause di tali mutazioni d'aspetto senza aver prima qualche conoscenza almeno superficiale della natura terrestre: così anche per noi, che tanto poco conosciamo dello stato fisico di Marte e nulla del suo mondo organico, la grande libertà di supposizioni possibili rende arbitrarie tutte le spiegazioni di tal genere, e costituisce il più grave ostacolo all'acquisto di nozioni fondate. Tutto quello che possiamo sperare è, che col tempo si diminuisca gradatamente l'indeterminazione del problema, dimostrando, se non quello che le geminazioni sono, almeno quello che non possono essere. Dobbiamo anche confidare un poco in ciò, che Galileo chiamava *la cortesia della Natura*, in grazia della quale talvolta da parte inaspettata sorge un raggio di luce ad illuminare argomenti prima creduti inaccessibili alle nostre speculazioni; di che un bell'esempio abbiamo nella chimica celeste. Speriamo adunque, e studiamo.

IX.

LA VITA SUL PIANETA MARTE

Dalla Rivista *Natura ed Arte*, Anno IV, N. 11
1º giugno 1895 — Milano.

I.

Il singolar globo di Marte, che sotto più riguardi tanto rassomiglia al nostro, e nel quale sembrano celarsi così interessanti misteri, ogni giorno più chiama a sè l'attenzione pubblica, e sempre più è fatto oggetto di accurati studi e di ardite speculazioni. Esso non è intieramente sconosciuto ai lettori di *Natura ed Arte*, i quali ricorderanno senza dubbio la descrizione accompagnata da disegni, che ne fu pubblicata nei due fascicoli di febbraio 1893. Non senza ammirazione essi han potuto vedere quelle macchie oscure e quelle regioni più chiare della sua superficie, che si considerano come rappresentanti mari e continenti; le misteriose linee, dette *canali*, or semplici or doppie, che lo solcano per ogni verso in forma di fitto reticolato; le vicissitudini del clima nei suoi due emisferi; e specialmente le nevi che biancheggiano intorno ai suoi poli, e con alterna vece crescono e decrescono secondo le stagioni, nè più nè meno di quello che si osserva nelle regioni agghiacciate che occupano le zone polari del nostro globo.

Nell'anno decorso 1894 il pianeta essendosi molto avvicinato alla Terra (siccome suol fare periodicamente ad intervalli di circa 26 mesi), si trovò a buona portata dei grandi telescopi astronomici; e così fu possibile di fare alcune osservazioni importanti. Durante l'epoca del massimo avvicinamento (che fu nei mesi di settembre e di ottobre) la posizione dell'asse di Marte rispetto al Sole e le stagioni dei suoi emisferi

furono press'a poco quelle che han luogo per la Terra ogni anno durante il mese di gennaio. Per l'emisfero boreale di Marte era appena passato il solstizio d'inverno; l'emisfero australe, invece, che si trovava principalmente in vista, era nelle condizioni atmosferiche che noi esperimentiamo nel mese di luglio, cioè al principio e al colmo della state. Le regioni polari australi e il polo antartico del pianeta brillavano nell'illuminazione perpetua; e sotto la sferza incessante del Sole le nevi di quel polo parvero decrescere a colpo d'occhio.

Le prime osservazioni si fecero in Australia alla fine di maggio col grande telescopio dell'osservatorio di Melbourne, essendo il pianeta ancora a grande distanza dalla Terra. Il 25 maggio (epoca, che per l'emisfero australe di Marte corrispondeva press'a poco alla metà della primavera) i ghiacci si estendevano tutt'intorno al polo australe fino a 67° di latitudine; l'area nevosa formava una calotta ben terminata e simmetrica di 2800 chilometri di diametro.

A partir da quel punto fino alla metà d'agosto, per lo spazio di 80 giorni e più, l'orlo circolare della regione nevata andò restringendosi con molta regolarità, avvicinandosi al polo in ragione di 13 chilometri al giorno; così che a mezzo agosto il diametro delle nevi da 2800 chilometri si trovò ridotto a 600. Durante questo intervallo, e precisamente verso la fine di giugno, si manifestò nella calotta bianca una grande spaccatura, che ne separava un segmento di considerabile ampiezza. Quest'ultimo scomparve presto, e non restò che la massa principale, notabilmente diminuita.

Da mezzo agosto alla fine di settembre la diminuzione delle nevi intieramente si arrestò, quantunque appunto in quell'intervallo avesse luogo il solstizio australe del pianeta (31 agosto) e con esso la massima irradiazione del Sole su quelle regioni. Il 24 di settembre l'area circolare nevosa aveva ancora quasi lo

stesso diametro di 600 chilometri, che era stato misurato il 13 di agosto.

La causa sconosciuta, che produsse questo arresto nel ritirarsi dei ghiacci, parve cessare negli ultimi giorni di settembre; il limite delle nevi continuò a progredire verso il polo, questa volta in ragione di dieci chilometri al giorno; e non finì che colla distruzione *totale* delle nevi stesse, la quale da diversi osservatori fu assegnata ad epoche alquanto diverse, ma si può stimare che avesse luogo intorno al 25 ottobre, coll'incertezza di alcuni giorni in più o in meno. Così rimase il polo australe di Marte affatto nudo di ghiacci fino a questo giorno in cui scrivo (4 aprile 1895). Nell'intervallo si videro bensì di quando in quando comparire certe macchie bianche in molta vicinanza del polo; nessuna di queste però è stata permanente, e si deve credere che rappresentassero nevicate di carattere locale e transitorio. Quale fortuna sarebbe pei nostro geografi, se un simile scioglimento completo dei ghiacci si producesse anche una sola volta sopra ciascuno dei due poli della Terra!

Da che si è cominciato a studiar Marte con qualche attenzione, è questa la prima volta in cui è accaduto di osservare la completa dissoluzione delle sue nevi antartiche. Essa si può stimare avvenuta circa 55 giorni dopo il solstizio australe, cioè dopo l'epoca in cui la massima intensità della radiazione solare si fece sentire in quella regione. Nel 1862, trovandosi il pianeta in una stagione identica, Lassell vide quelle medesime nevi ancora molto estese: 94 giorni dopo il solstizio australe il loro diametro non era minore di 500 chilometri. Nell'anno 1880 io le vidi ancora a Brera 144 giorni dopo il solstizio australe. Possiamo argomentare da questo, che in Marte, come sulla Terra, il corso delle stagioni non è perfettamente il medesimo in tutti gli anni, e che si danno colà, come presso di noi, estati più lunghe o più calde, ed altre più brevi o più fresche.

La rapida fusione di così ingenti quantità di neve non può essere senza conseguenze sulle condizioni idrografiche del pianeta. Sulla terra la fusione delle nevi artiche ed antartiche non può essere di molta conseguenza, prima perchè le aree ghiacciate polari sono ambedue circondate dal medesimo mare, il quale, se cresce di livello per lo sciogliersi di una parte delle nevi artiche, d'altrettanto decresce pel contemporaneo coagularsi di nuove nevi antartiche. Una simile compensazione non può aver luogo su Marte in modo così semplice ed immediato, essendo il maggior mare, che circonda il polo antartico, intieramente separato da quegli altri mari assai minori o piuttosto laghi, che stanno vicino al polo artico; siccome si può vedere dando uno sguardo alla carta di Marte qui unita (1) (vedi fig. 17 a pag. 225).

L'equilibrio nelle masse liquide dei due emisferi può stabilirsi soltanto per mezzo di deflusso attraverso ai continenti che occupano le regioni intermedie; e questa è la causa per cui all'alternato coagularsi e dissolversi delle nevi intorno ai due poli sono da attribuire in gran parte le mutazioni che si osservano nel sistema idraulico del pianeta. Mutazioni, che ai nostri telescopi son rese manifeste dalla modificata estensione dei mari, e dalla varietà d'aspetto di quelle striscie oscure che segnano le zone d'inondazione e di deflusso; le quali pertanto non senza un po' di ragione furon chiamate *canali*, quantunque tal nome si debba intendere in senso assai largo. Piuttosto che veri canali della forma a noi più familiare, dobbiamo immaginarci depressioni del suolo non molto profonde, estese in direzione rettilinea per migliaia di chilometri, sopra larghezza di 100, 200 chilometri od anche più. Io ho

(1) Notisi che in questa carta il pianeta si presenta rovesciato, quale si vede nei telescopi astronomici usuali, quindi il polo artico è in basso, l'antartico in alto, rispetto a chi legge le indicazioni delle carte stesse.

già fatto notare altra volta, che, mancando sopra Marte le piogge, questi canali probabilmente costituiscono il meccanismo principale, con cui l'acqua (e con essa la vita organica) può diffondersi sulla superficie asciutta del pianeta. Non è un problema privo d'interesse quello di rendersi conto del modo, con cui può avvenire una tale diffusione.

II.

Sulla Terra le vicende delle stagioni si corrispondono nei due emisferi con effetti quasi intieramente simmetrici nella loro alternativa. I periodi di freddo e di caldo, di siccità e di pioggia si producono con fasi alternate ma analoghe, ad intervalli di sei mesi, sotto paralleli di ugual latitudine ai due lati dell'equatore. Le diversità di clima, che si osservano in tal caso, sono di carattere puramente locale, dovute per lo più a condizioni accidentali di natura topografica. Qualche piccola differenza nella meteorologia dei due emisferi veramente si manifesta a chi consideri le cose con molta precisione; differenza principalmente derivata da ciò, che nell'emisfero australe le aree continentali sono meno estese che nell'emisfero boreale. Ma questo fatto, quantunque degno di studio per il suo carattere generale, praticamente è di poca importanza nella considerazione del clima di una data regione australe o boreale della Terra.

In Marte le cose sembrano proceder molto diversamente. Come dimostra uno sguardo dato alla carta, tutto o quasi tutto l'Oceano è concentrato intorno al polo australe, al quale per conseguenza e alle circostanti regioni deve corrispondere una vasta depressione nel suolo solido del pianeta. Al contrario, dall'esser l'emisfero boreale quasi tutto occupato da un gran continente non interrotto, siamo indotti ragio-

nevolmente a credere, che da quella parte si abbian le regioni più elevate, e che più alti di tutti siano i paesi circostanti al polo nord. Questa disposizione di cose fa sì, che lo sciogliersi delle nevi polari può avere, pel clima e per la vita organica, conseguenze ben diverse, secondo che si tratta delle nevi australi, o delle nevi boreali. È questo un punto, il quale merita di essere esaminato con qualche cura.

Consideriamo dapprima la calotta dei ghiacci australi, che tutta si forma entro all'Oceano di Marte, e può giungere ad occupare di questo Oceano una parte considerabile, forse un terzo od un quarto. Lo sciogliersi progressivo della medesima avrà per ultimo risultato un innalzamento del livello generale di tutto l'Oceano, e dei mari interni minori, che lo circondano come appendici. Tale elevazione potrà bastare ad inondare tutte le parti più basse dei continenti e specialmente quelle che all'Oceano sono più vicine. In tale stagione infatti si vedono molto più marcati ed oscuri, non solo i mari interni segnati col nome di *Adriatico*, *Tirreno*, *Cimmerio*, *Sirenio*, ecc., ma anche gli stretti più o meno spaziosi che li uniscono all'Oceano e l'Oceano stesso. I golfi, onde appare frastagliato il continente, diventano più visibili, e con essi anche taluno dei grandi canali che dall'Oceano direttamente si spingono entro terra, per esempio la Gran Sirte e la Nilosirte, che da essa procede. Questa maggior espansiône dell'Oceano però non arriva nelle parti più interne dei continenti e nelle regioni boreali; impedita a quanto sembra dalla troppo grande elevazione di queste.

L'effetto dello sciogliersi delle nevi australi è dunque di far uscire il mare dai suoi confini, e di produrre qua e là parziali inondazioni del medesimo sopra alcuni lembi del continente. Ora è molto dubbio, se un tal fenomeno possa riuscire di molto vantaggio per la vita organica, e sopratutto pei supposti abitatori del pianeta. Simili usurpazioni periodiche del mare sul continente hanno anche luogo presso di noi in conse-

guenza del flusso e del riflusso: e, quantunque siano di periodo breve e si facciano su piccolissima scala, non credo si possano considerare come una benedizione pei paesi dove si producono (Olanda, Frisia, litorale nord-ovest della Germania): vediamo anzi gli abitanti tentare di difendersene con immense dighe. Per Marte molto dipenderà dalla natura chimica delle sostanze disciolte nell'Oceano. Se, per esempio, quelle acque fossero salate come quelle dei mari terrestri, la zona delle aree invase dal mare ad ogni ritorno dell'estate (che si fa su Marte a periodi di 23 mesi circa dei nostri) potrebbe servire alla formazione di vaste saline, o dar luogo a vegetazioni di carattere speciale. In nessun caso potrebbero quelle acque supplire alla coltivazione delle aree continentali, ed ai bisogni dell'agricoltura quale noi l'intendiamo.

Ben diverso è lo stato di cose che ci si presenta allo sciogliersi delle nevi boreali. Essendo queste collocate nel centro del continente, le masse liquide prodotte dalla liquefazione si diffondono sulla circonferenza della regione nevata, convertendo in mare temporaneo una larga zona del terreno circostante; e, correndo verso le regioni più basse, producono una gigantesca inondazione molto bene osservabile ai nostri telescopi. Tale inondazione si estende per molte e grosse ramificazioni sopra terre prima asciutte, formando presso il polo nord laghi molto estesi, che la carta nostra designa sotto i nomi di *Mare Acidalio* e di *Lago Iperboreo*. Da tal regione inondata si diramano grosse strisce oscure, rappresentanti al nostro sguardo altrettante larghe correnti, per le quali le nevi liquefatte ritornano, o tendono almeno a ritornare verso la loro sede naturale che sta nell'altro emisfero, cioè verso le bassure australi occupate dall'Oceano.

Riflettiamo ora, che la neve è il prodotto di una distillazione atmosferica, nella quale l'acqua si riduce alla purezza quasi completa. Se ciò non fosse, l'evaporazione dei nostri mari condurrebbe alla formazione

di piogge d'acqua salata, e di nevi salate; dove tutti sanno, che l'acqua piovana caduta a traverso di una atmosfera non inquinata è acqua quasi assolutamente pura, come assolutamente pura o quasi è l'acqua delle nostre nevi. Adunque la grande inondazione boreale di Marte, risultando dallo scioglimento di nevi cadute in terreno prima asciutto, e non essendo mescolata alle acque di un Oceano, sarà libera da quei sali e da quelle mescolanze, da cui non si può dubitare che sia inquinato l'Oceano australe del pianeta. Ne possiamo concludere, che se nelle parti asciutte e continentali della superfice di Marte vi è vita organica, gli è esclusivamente o quasi esclusivamente allo sciogliersi delle nevi boreali che deve la sua esistenza; gli è dalla giusta e opportuna ripartizione delle acque venenti dal polo nord, che dipende il suo progresso e il suo sviluppo. E se in Marte esiste una popolazione di esseri ragionevoli capace di vincere la Natura e di costringerla a servire ai propri intenti, la regolata distribuzione di quelle acque sopra le regioni atte a coltura deve costituire il problema principale e la continua preoccupazione degli ingegneri e degli statisti.

III.

Fino a questo punto abbiam potuto arrivare, combinando il risultato delle osservazioni telescopiche con probabili deduzioni tratte da principi conosciuti della fisica, e da plausibili analogie. Concediamo ora alla fantasia un più libero volo; sempre appoggiati, per quanto è concesso, al fondamento sicuro dell'osservazione e del ragionamento, tentiamo di renderci conto del modo con cui sarebbe possibile in Marte l'esistenza e lo sviluppo di una popolazione d'esseri intelligenti, dotati di qualità e soggetti a necessità non

troppo diverse dalle nostre: e sotto quali condizioni si potrebbe ammettere che i fenomeni dei così detti canali e delle loro geminazioni possano rappresentare il lavoro di una simil popolazione. Ciò che diremo non avrà il valore di un risultato scientifico, ed anzi confinerà in parte col romanzo, Ma le probabilità a cui per tal modo arriveremo non saranno minori che per tanti altri romanzi più audaci e meno innocenti, che sotto il sacro nome di scienza si stampano nei libri e si predicano nelle assemblee e nelle Università.

Comparando il globo della Terra con quello di Marte sotto il rispetto della loro costituzione meteorologica ed idrografica, subito ci appare manifesto, dalle cose dette sopra, quanto il primo dei due sia meglio disposto per accogliere la vita organica e per favorirne lo sviluppo nelle sue forme superiori. Ai fortunati Terricoli l'acqua fecondatrice è distribuita gratuitamente dalla periodica e regolare operazione del gran meccanismo atmosferico. Piove sui nostri campi senza alcun nostro merito: per noi, senza alcuna nostra fatica si condensa sulle montagne il liquido prezioso, che per mezzo dei ruscelli e dei fiumi può in molti modi esser rivolto a nostro vantaggio, coll'irrigazione, colla navigazione interna, colle macchine idrauliche: e senza di questo dono, che sarebbe il genere umano? Assai più dure condizioni di esistenza ha fatto la Natura ai poveri Marziali. Dove rare sono le nuvole e nulle le piogge, ivi mancano certamente le fonti ed i corsi d'acqua (1). Tutto per loro sembra di-

---

(1) Sulla totale (o quasi totale) assenza di nuvole e di piogge in Marte veggasi quanto ho scritto nel mio articolo precedente. L'anno scorso è riuscito al signor Douglass, astronomo americano, di studiare e di misurare alcune nuvole di questo pianeta. Una di esse, osservata il 25 e il 26 novembre 1894, era larga 150 chilometri circa e lunga 250; la sua altezza sul suolo del pianeta fu trovata esser più di 25 chilometri; essa sembrava muoversi con una velocità di circa 20 chilometri all'ora. Sulla Terra le nuvole bianche a strisce e frange, chiamate *cirri*, le quali sembrano aver molta analogia colle nuvole di Marte, non sogllono elevarsi a più di 6 od 8 chilometri dal livello del suolo.

pendere, come già si è accennato, dalla grande inondazione prodotta nello sciogliersi delle nevi polari boreali. La loro conservazione e la loro prosperità richiede ad ogni costo, che siano arrestate nella maggior quantità possibile, e trattenute per tutto il tempo necessario quelle acque, prima che vadano a perdersi nel mare australe; che se ne approfitti nel modo più efficace alla coltura di aree abbastanza vaste per assicurare durante un intero anno marziale (23 mesi nostri) l'esistenza di tutto ciò che vive sul pianeta. Problema forse non tanto facile e non tanto semplice! perchè la somma di acqua disponibile è al più quella che hanno formato le nevi boreali d'una sola invernata; quantità certamente assai grande, la quale però, ripartita sopra tutti i continenti, potrebbe presto diventare insufficiente, anche non tenendo conto delle perdite inevitabili per evaporazione, filtrazione, errori di distribuzione, ecc.

Bastan questi riflessi a persuaderci, che le molte strisce oscure, onde il pianeta è solcato per ogni verso, larghe talvolta quanto il Mar Adriatico od il Mar Rosso e quasi sempre assai più lunghe, non possono, malgrado il nome da noi loro assegnato di *canali*, rappresentare nella loro vera larghezza arterie di deflusso delle acque boreali. Se tali fossero, basterebbero a dar passo in poche ore a tutta quanta la grande inondazione. Non solo le acque non potrebbero esser impiegate a colture che richiedessero la durata di alcuni mesi, ma giungerebbero al mare e vi si perderebbero prima che un vantaggio qualunque se ne potesse trarre. Certo per le vie segnate da quelle strisce ha luogo un deflusso, ma non tutte intiere quelle strisce servono al deflusso. La loro larghezza è per tale scopo eccessiva, nè a questo scopo corrisponde bene il loro variabile aspetto, e la loro geminazione. Ciò che noi vediamo là, e che finora abbiam chiamato *canali*, non sono larghissimi corsi di acqua, come da alcuno fu creduto. L'ipotesi più plausibile è quella di conside-

rarle come *zone di vegetazione*, estese a destra e a sinistra dei veri *canali*, i quali esistono sì lungo le medesime linee, ma non sono abbastanza larghi da poter esser veduti dalla Terra (1). Queste zone di vegetazione facilmente si distaccano sulle circostanti regioni del pianeta per un colore più cupo, dovuto, com'è da credere, al fatto stesso dell'inaffiatura (si sa che il terreno bagnato è di color più oscuro che l'asciutto e disseccato dal sole) e anche in parte senza dubbio alla presenza stessa della vegetazione; mentre per le aree aride e condannate a perpetua sterilità rimane invariato il color giallo uniforme che predomina su tutti i continenti. Questo colore dobbiamo d'ora innanzi considerare come rappresentante il deserto puro ed assoluto; e pur troppo si può far stima che i nove decimi della superfice continentale di Marte ad esso appartengano.

Proseguendo nelle nostre deduzioni arriveremo a comprendere, senza difficoltà, che, regnando in Marte il potere della gravità, quantunque in misura assai minore che sulla Terra (2), i liquidi diffusi alla superfice del pianeta tenderanno a scendere ai luoghi più bassi; e che le zone oscure destinate alla vegetazione saranno più basse delle aree luminose circostanti in cui l'acqua non può penetrare. Quello pertanto che a noi appare sotto l'aspetto di striscia oscura, e che da tutti finora si è chiamato *canale*, sarà un grande avvallamento della superfice, esteso secondo la linea retta o secondo il circolo massimo, sopra larghezze e lunghezze comparabili a quelle del Mar Rosso. D'ora

(1) Una striscia oscura della superficie di Marte non può esser osservabile coi presenti nostri telescopi, se non ha almeno 30 o 40 chilometri di larghezza.

(2) L'intensità della gravità alla superfice di Marte è minore nel rapporto di 3 ad 8 di quella che ha luogo alla superfice della Terra. Quindi quel peso, che noi chiamiamo di 8 chilogrammi, potrebbe esser sostenuto in Marte da quel tanto di forza muscolare, che a noi occorre per sostenere 3 chilogrammi.

innanzi daremo ad esso il nome più proprio di *valle*. La larghezza di una tal valle è in tutti i casi presso che uniforme, e tale dobbiamo credere ne sia pure la profondità, che diverse ragioni c'inducono a credere molto piccola, e certamente poi molte volte minore della larghezza. L'osservazione ci accerta che una tal valle fa sempre capo co' suoi estremi o ad un mare o ad un lago, od a un'altra valle consimile. E poichè il color oscuro, effetto della vegetazione e dell'irrigazione, ne occupa tutta l'apparente larghezza, dobbiamo ritenere, che i due pendii laterali siano accessibili alle acque tanto bene quanto il fondo. Quale poi sia stata l'origine di tali valli così numerose ed intrecciate, come si vede sulla carta, non è ora opportuno discutere; però l'enorme loro larghezza non ci dà confidenza di sottoscrivere all'opinione di coloro, che le credono prodotto di uno scavo artificiale.

La mente nostra non è avvezza a concepire tali grandiose opere come effetto di potenze comparabili a quella dell'uomo. Quando però dalla considerazione generale di questi fatti si scende allo studio minuto dei loro particolari, e sopratutto si ferma l'attenzione sopra le misteriose geminazioni e sulla straordinaria regolarità di forma ch'esse presentano, l'idea che qualche parte almeno secondaria vi possa avere una razza di essere intelligenti non può esser considerata come intieramente assurda. Anzi, al punto in cui siamo giunti e data la verità delle cose sin qui esposte, tale supposizione perde quel carattere d'audacia che ci spaventava da principio, e diventa quasi una conseguenza necessaria.

Poniamo infatti per un momento, che lassù tutto si faccia per conseguenza cieca di leggi fisiche, senza intervento alcuno di mente direttiva. Le nevi del polo boreale, a misura che saranno disciolte, correranno all'Oceano seguendo le ampie valli, che loro offrono la strada più facile. Se il fondo delle valli è concavo (come nella maggior parte delle nostre), l'acqua vi si

riunirà in una corrente di larghezza molto limitata, e non potrà occupare i pendii laterali, nè produrre sopra di essi l'innaffiamento e le vegetazioni che soli possono renderli a noi visibili. Il corso d'acqua o canale esisterà, ma difficilmente prenderà tale ampiezza da rendersi sensibile al telescopio. Insomma noi non ne vedremmo nulla. Perchè l'acqua e la vegetazione potessero espandersi sopra larghezze di 100 e 200 chilometri, bisognerebbe che il fondo della valle fosse piano e quasi assolutamente uniforme. Avremmo allora qualche cosa di simile ad un vasto impaludamento, nel quale potrebbero ottimamente svolgersi una flora ed una fauna somiglianti a quelle della nostra epoca carbonifera. Con tali ipotesi è possibile

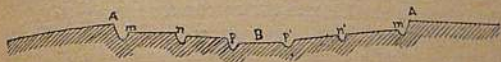



Fig. 21.

renderci conto delle strisce oscure semplici; rimane però inesplicato il fenomeno della loro temporanea geminazione. Non si riesce a comprendere perchè in una medesima valle l'innaffiamento e la vegetazione si faccian talvolta sopra una linea unica, tal'altra invece si dividano sopra due linee parallele di larghezza e d'intervallo non sempre eguale in ogni tempo, tra le quali resta uno spazio infecondo o almeno non irrigato. Qui la supposizione di un intervento intelligente è più che mai indicata. E il modo di questo intervento dev'esser determinato dalle condizioni particolari fatte dalla natura ai supposti abitatori del pianeta.

Ora prego il lettore di considerare l'annessa fig. 21 nella quale si è inteso di rappresentare il taglio o sezione trasversale di una delle larghe valli di Marte. In *AA* sono le sponde della valle, in *B* il suo fondo. Se al giungere delle inondazioni s'immettesse l'acqua

nella valle senza altro apparato, essa si raccoglierebbe tutta al fondo sotto forma di un gran fiume in quantità probabilmente eccessiva, mentre i pendii laterali rimarrebbero asciutti. Per dare a tutta la valle la irrigazione necessaria così in quantità come in durata, i nostri ingegneri avrebbero scavato (e così dobbiam supporre abbiano fatto anche gli ingegneri di Marte) a diverse altezze sui due pendii una serie di canali paralleli fra loro e paralleli alle sponde della valle; canali di dimensioni comparabili alla nostra Muzza, al Canale Cavour, al gran Canale del Gange (1). Simili canali, di cui non è necessario qui precisare il numero sono rappresentati sulla figura dalle incavature segnate colle lettere *m*, *n*, *p*.... Fra due canali contigui il terreno segue il pendio naturale verso l'asse della valle, in modo che l'acqua da un canale più alto (come quello segnato *m*) possa arrivare a quello che gli sta sotto (come quello segnato *n*) espandendosi gradatamente su tutta la zona coltivata intermedia *m n*. I due canali più bassi serviranno ad irrigare la zona più bassa di coltivazione, che occupa il fondo della valle. All'estremità boreale di questa stanno i robusti argini, che trattengono entro i dovuti limiti, e fino al tempo opportuno, le acque della grande inondazione; ivi si chiudono e si aprono le porte d'afflusso: mentre per l'estremità australe e più bassa accadrà l'uscita delle acque residue, che vanno a raccogliersi nell'Oceano australe.

Già si è accennato, che la copia d'acque provenienti dalle nevi di una sola invernata sembra piuttosto inferiore che superiore ai bisogni dell'irrigazione; la poca area delle superficie coltivate in confronto colle deserte favorisce questa conclusione. L'apertura dei canali e l'immissione delle acque nelle campagne di

(1) Quest'ultimo canale è capace d'irrigare sopra tutta la sua lunghezza (che è di 500 chilometri) una zona di terreno larga 35 chilometri. Più non si richiede per i canali qui sopra descritti.

una data valle non si potranno quindi fare a caso, ma dovranno succedersi con certa regola, onde tutte le zone, anche le più alte, possano ricevere il fluido benefico e conservarlo per tanto tempo, quanto ne richiede il ciclo vegetativo delle colture adottate. Male si provvederebbe a questo se, per esempio, prima che la grande inondazione sia giunta al colmo, si cominciasse a consumar l'acqua per uso delle zone più basse: perchè in tal modo potrebbe avvenire che l'inondazione non raggiungesse il livello necessario per irrigare le zone più alte. Queste ultime pertanto dovranno avere la precedenza in ogni caso.

Così stando dunque disposte le cose; essendo giunta l'estate dell'emisfero Nord, e la grande inondazione boreale essendo arrivata alla massima altezza; il Gran Prefetto dell'Agricoltura ordina che si apran le chiuse più alte, e che sia immessa l'acqua nei due canali più elevati a destra e a sinistra della valle (segnati colle lettere *m m'* nella figura qui sopra). L'irrigazione si estenderà sopra le due zone laterali più alte (cioè *m n m' n'*); la superfice della valle cambierà colore in queste due zone, l'abitante della Terra vedrà due strisce parallele colorate, cioè una *geminazione*. Trascorso il tempo sufficiente per assicurare il completo ciclo vegetativo in quelle due prime zone, e la grande inondazione boreale essendo già in sul decrescere, si aprono le chiuse conducenti a due canali più bassi *n n'*, i quali frattanto avranno ricevuto anche i residui delle due zone già irrigate. Così sarà aperta alle acque la via per fecondare due altre zone fra loro parallele, *n p n' p'*, le quali a lor volta diventeranno visibili all'osservatore terrestre. A quest'ultimo la geminazione sembrerà or composta di due linee più larghe, l'una proveniente dall'insieme delle due zone irrigate di destra, l'altra dall'insieme delle due zone irrigate di sinistra. Ma col crescere della vegetazione nelle zone più alte, *m n m' n'*, queste riprenderanno il loro colore primitivo e cesseranno d'esser visibili,

onde ad un dato momento nel telescopio non si vedranno che le sole zone *n p n' p'* più interne; la geminazione sarà di nuovo composta di due linee sottili, ma l'intervallo fra queste sarà minore di quanto fosse in principio, quando erano irrigate le sole zone *m n m' n'*. Così di grado in grado, abbassandosi le acque della grande inondazione, si passerà ad irrigare zone sempre più basse; da ultimo, esaurite ormai quelle acque, se ne profitterà per immetterle nella zona che forma il fondo della valle, cioè nell'intervallo rappresentato con *p p'*. Allo spettatore terrestre apparirà una striscia sola; la geminazione avrà cessato di esistere. E quando il ciclo vegetativo sarà compiuto su tutte le zone della valle, allora soltanto si potranno aprire le porte inferiori per lasciare l'uscita alle acque residue, non senza prima aver riempito i vasti serbatoi necessari all'uso quotidiano di quegli abitanti, e alla coltura dei giardini durante l'intervallo della lunga siccità. Dell'irrigazione avvenuta non rimarrà che qualche traccia accidentale, il terreno ritornerà arido, e l'osservatore terrestre o non vedrà più affatto la valle, o appena ne discernerà qualche lieve indizio.

Questo piano d'operazioni, che io ho descritto qui per fissare le idee su di un caso concreto, non sarà probabilmente il solo ad esser praticato. Non è necessario che l'ordine d'irrigazione delle successive zone sia sempre ed ovunque così completo e così regolare. Se, per esempio, per le colture di Marte fosse necessaria la pratica del maggese, qualche zona dovrebbe esser lasciata senza irrigazione. A norma poi delle diverse specie di coltura dovendo l'irrigazione esser più lunga o più breve, non si avrà sempre la completa simmetria sui due pendii della valle; ma potrà tale irrigazione esser più estesa e più durevole or da una parte or dall'altra, od anche da una parte mancar totalmente. E sul fondo della valle, che sarebbe il luogo più opportuno per boschi, si cercherebbe di mantenere l'umidità per il tempo più lungo che sia possibile. Così

potrebbe anche nascere una zona permanente di vegetazione, sempre più o meno osservabile dai telescopi terrestri. In tal modo senza supporre cose miracolose e senza vagare all'impazzata nei campi dell'ignoto, con sobrio uso d'analogie e con plausibili deduzioni, possiamo spiegarci non solo la varia lunghezza e il vario aspetto sotto cui ci appaiono i così detti *canali*, cioè le valli coltivate di Marte; ma ancora dalle necessità pratiche della vita degli ipotetici suoi abitanti possiamo dedurre e l'esistenza delle geminazioni, e la varia larghezza delle linee che le compongono, e le mutazioni del loro intervallo. E si riesce a comprendere perchè le strisce, dette *canali*, qualche volta sembrano portarsi più verso destra, e qualche altra volta più verso sinistra, sempre conservando il medesimo orientamento.

Ammesse le linee principali del nostro quadro, non sarà difficile il compierlo nei particolari, e disegnare coll'immaginazione i grandi argini necessari per contenere nei giusti limiti l'inondazione boreale; i laghi o serbatoi secondari di distribuzione, necessari per dare le acque a quelle valli, che non fanno capo direttamente a quella inondazione; le opere occorrenti per regolare la distribuzione secondo il tempo e secondo il luogo; i canali di primo, secondo, terzo.... ordine destinati a condurre le acque su tutto il terreno irrigabile, i numerosi opifici, a cui le acque potranno dar moto nel loro scendere dai ciglioni laterali della valle al fondo della medesima. Marte dev'esser certamente il paradiso degli idraulici!

E passando ad un ordine più elevato di idee, interessante sarà ricercare qual forma d'ordinamento sociale sia più conveniente ad un tale stato di cose, quale abbiamo descritto; se l'intreccio, anzi la comunità d'interessi, onde son tra loro inevitabilmente legati gli abitanti d'ogni valle, non rendano qui assai più pratica e opportuna, che sulla Terra non sia, l'istituzione del socialismo collettivo, formando di

ciascuna valle e dei suoi abitanti qualche cosa di simile ad un colossale falanstero, per cui Marte potrebbe diventare anche il paradiso dei socialisti. Bello altresì sarà indagare, se sia meglio ordinare politicamente il pianeta in una grande federazione, di cui ogni valle costituisca uno stato indipendente, oppure se forse, a reggere quel grande organismo idraulico da cui dipende la vita di tutti, e a conciliare le diverse necessità delle diverse valli, non sia opportuna la monarchia universale di Dante. Ed ancora si potrà discutere, a quale rigorosa logica dovrà essere subordinata la legislazione destinata a regolare un così grandioso, vario e complicato complesso d'affari: quali progressi debbano aver fatto colà la Matematica, la Meteorologia, la Fisica, l'Idraulica e l'arte delle costruzioni, per arrivare alla soluzione dei problemi estremamente difficili e vari, che si presentano ad ogni tratto. Qual singolare disciplina, concordia, osservanza delle leggi e dei diritti altrui debba regnare sopra un pianeta, dove la salute di ciascuno è così intimamente legata alla salute di tutti; dove son certamente sconosciuti i dissidi internazionali e le guerre; dove quella somma ingente di studio e di lavoro e di mezzi, che i pazzi abitanti d'un altro globo vicino consumano nel nuocersi reciprocamente, è tutta rivolta a combattere il comune nemico, cioè le difficoltà che l'avara Natura oppone ad ogni passo.

Di tutto questo, o caro lettore, lascio a te l'ulteriore considerazione. Io scendo dall'Ippogrifo; tu, se ti aggrada, puoi continuare la volata. *Messo t'ho innanzi, omai per te ti ciba.*

X.

IL PIANETA MARTE

Dalla Rivista *Natura ed Arte*, Anno XIX, N. 1
1° dicembre 1909 — Milano.

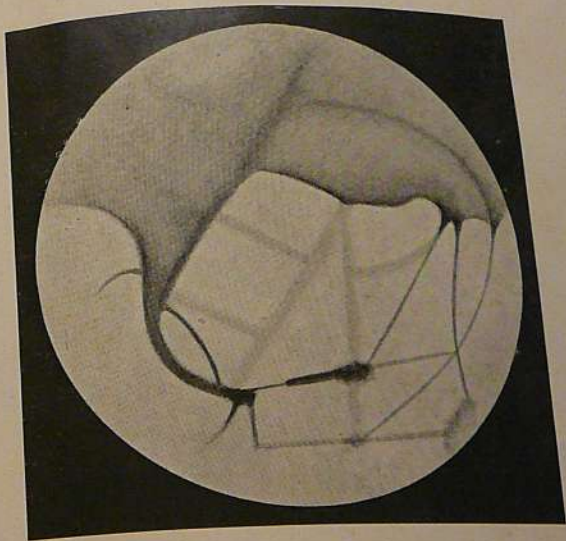



Fig. 22. — Aspetto generale del pianeta Marte, delineato col grande Telescopio dell'Osservatorio di Brera il 16 maggio 1890.

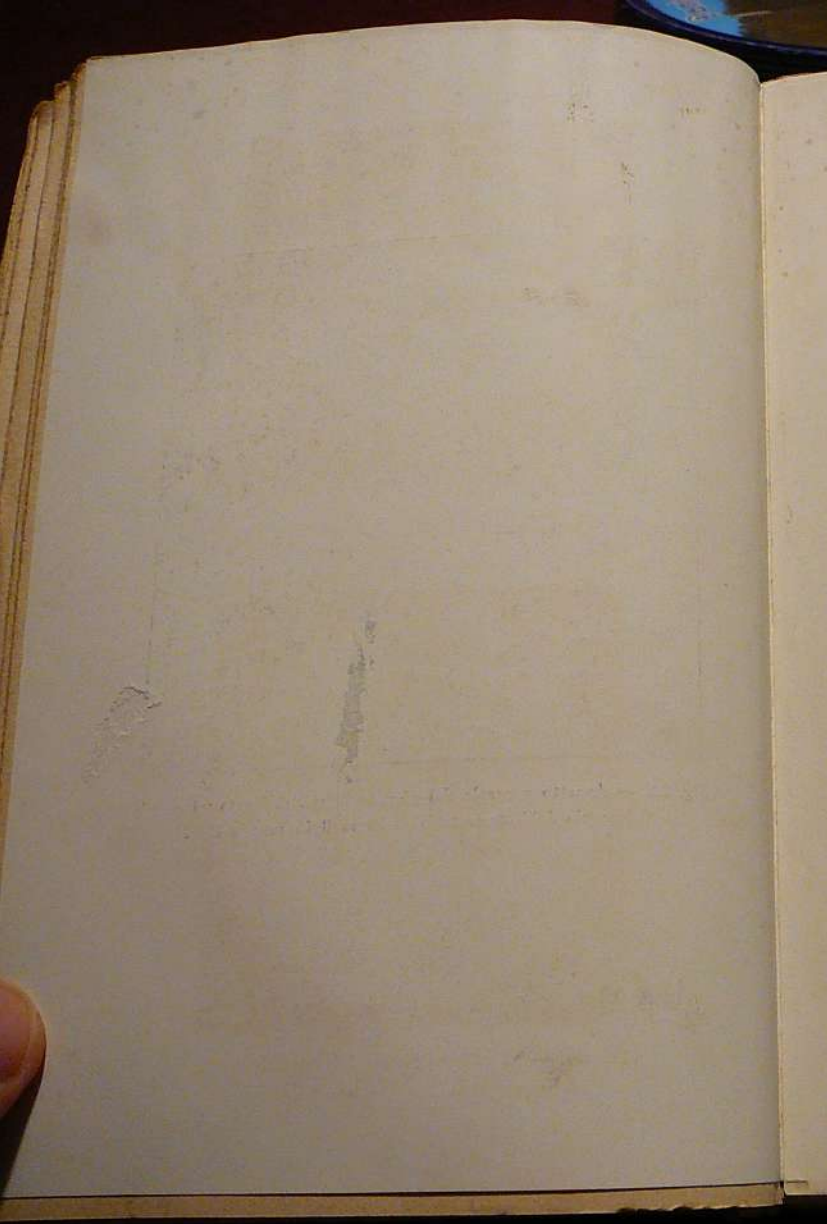
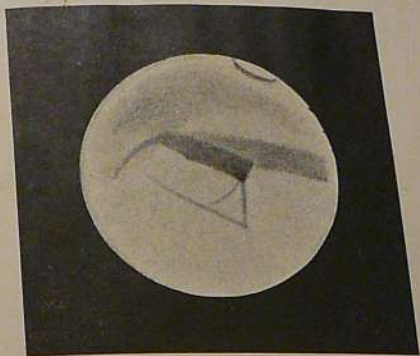



Fig. 23. — Il Pianeta Marte al 28 agosto 1909.
(Disegno di F. Quénisset a Juvisy)

Fig. 24. — Il Pianeta Marte al 3 settembre 1909.
(Disegno di E. M. Antoniadi a Juvisy)

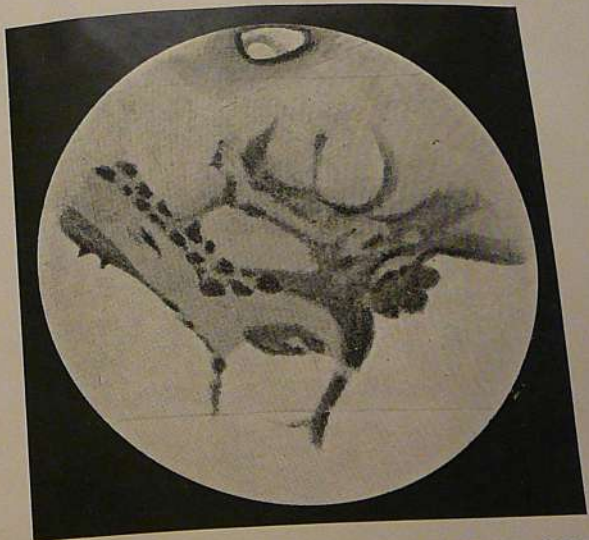
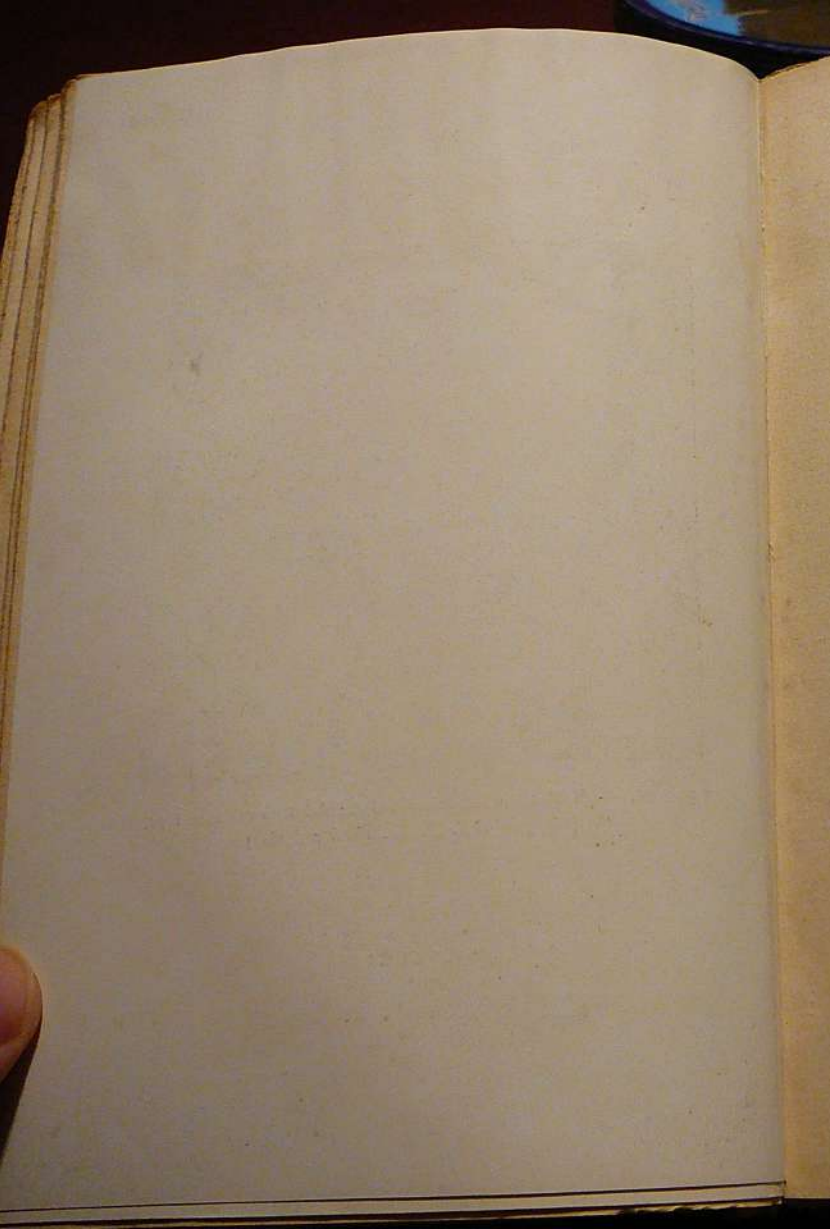



Fig. 25. — Il Pianeta Marte nella notte del 20 settembre 1909.
(Disegno di E. M. Antoniadi a Juvisy)

Come suol fare a periodi alternati ora di 15 anni, ora di 17 anni, il pianeta Marte nell'autunno scorso passò ad una delle sue minori distanze da noi, avvicinandosi alla Terra fino a 47 milioni di chilometri, ed apparve luminoso e magnifico più che mai non sia stato dal 1877 a questa parte. A quella distanza il globo di Marte, di cui il diametro arriva a circa 7900 chilometri, sottendeva nell'occhio dell'osservatore terrestre un angolo di 25". Sopra un tal globo ed a tale distanza, si possono discernere, con telescopi di sufficiente potenza le configurazioni topografiche del pianeta con un grado di minutezza e di precisione di cui si può avere un'idea dai qui annessi disegni (fig. 22, 23, 24 e 25). E reciprocamente, ad uno spettatore collocato in Marte non riuscirebbe troppo difficile distinguere sulla Terra particolarità del medesimo ordine di grandezza. L'esperienza dimostra, che con un istrumento di dimensioni affatto comuni, munito di una lente obbiettiva di 20 centimetri di diametro, una macchia luminosa in fondo oscuro (od oscura in fondo luminoso) si può distinguere senza troppa difficoltà in Marte alla sopradetta distanza di 47 milioni di chilometri, quando ad un discreto contrasto di colore essa congiunga un diametro reale uguale a $^1/_{50}$ del diametro del pianeta, cioè a 137 chilometri. Epperciò, usando sufficiente diligenza, si potranno scoprire in Marte, con un obbiettivo della

detta dimensione, tutte le isole non minori della Sicilia e tutti i laghi non minori del Ladoga, isole come l'Islanda e Ceylan; laghi come quello di Aral ed il Victoria Nyanza devono esser molto cospicui. Similmente una striscia luminosa su fondo più oscuro, secondo le fatte esperienze dovrebbe esser ancora visibile quando la sua lunghezza non fosse minore di $^1/_{100}$ del diametro di Marte, cioè di 80 chilometri o giù di lì. Quindi lingue di terra ed isole oblunghe come la Jutlandia e Cuba e l'istmo centrale americano; stretti di mare e laghi oblunghi come il Tanganyika, il Nyassa ed il Mar Vermiglio di California dovrebbero esser visibili da un ipotetico abitante di Marte, usando molta attenzione. Facilissimi dovrebbero essere per lui oggetti come l'Italia, l'Adriatico, il Mar Rosso, Sumatra e Nippon.

Tali sono press'a poco i limiti, a cui può arrivare la visione dei particolari di Marte esaminato con una lente obbiettiva di 20 centimetri in quelle occasioni, in cui si trova alla minor possibile sua distanza da noi. Negli ultimi tempi tuttavia gli ottici hanno imparato a costruire lenti obbiettive di molto maggior potenza così per riguardo all'amplificazione, come per riguardo alla precisione delle immagini; quindi i limiti sovra accennati sono stati spesso oltrepassati, malgrado che le difficoltà di esatta costruzione crescano in misura assai maggiore che le dimensioni di questi telescopi giganti.

La superfice di Marte presenta un insieme di macchie diversamente colorate, che costituiscono un sistema topografico sotto certi rispetti analogo a ciò che si vede sulla Terra, sotto altri invece molto differente. Marte ruota intorno ad un asse come la Terra, ed ai due poli si veggono per lo più brillare di luce vivissima due macchie bianche, le quali presentano vicende periodiche di grandezza, e alternamente crescono e diminuiscono secondo il ciclo delle stagioni, che per Marte è di 687 giorni, mentre per noi è un poco

più di 365. Appena si può dubitare, che tali macchie bianche polari siano immense estensioni di nevi o di ghiacci. Non sono esse da confondere con altre macchie di candore per lo più meno puro e meno intenso, che talvolta appaiono qua e là in tutte le latitudini, prediligendo anche certe regioni della superfice, e sono state interpretate talvolta come nuvole, o strati di nebbia o condensazioni simili alla nostra brina; appaiono or qua or là senza regola manifesta, e coprono talora vastissime estensioni.

Fuori di queste regioni bianche o biancastre la superfice del pianeta non è tutta di colore uniforme; nella maggior parte dei luoghi il fondo è formato da diverse gradazioni di rosso chiaro, o di aranciato o di giallo. Quello che rimane è occupato da vere macchie, in cui dominano colori di un tipo più scuro, diversi in diverse località, con intensità differente. Prevalgono il grigio, il bruno, qualche volta il nero, ma solo sopra linee e strisce di poca ampiezza. Spesso le aree coperte da colori differenti sono divise da una netta linea di separazione; ma non di raro accade, che dall'un colore all'altro vi è un passaggio graduale, quello che si dice una sfumatura. Tutto l'insieme dà l'idea di un magnifico e ricco musaico di gemme sparse su fondo d'oro diversamente ombreggiato, che nessun pittore fino ad oggi ha saputo rappresentare nemmeno con lontana approssimazione. Le immagini di Marte che gli astronomi disegnano il meglio che sanno stando ai loro telescopi, oltre all'imitazione quasi sempre molto imperfetta della linea, per difficoltà che qui sarebbe lungo e inutile descrivere, non danno alcuna esatta idea dei colori. Ciò che si stampa nei libri sono figure assai imperfette, per lo più assai lontane dal vero, e trattate in semplice chiaroscuro: da esse altro non si può ricavare che un'idea approssimata della grandezza e della disposizione delle macchie più salienti, senza che dei colori si possa dedurne alcuna notizia.

Nè bisogna immaginarsi di veder sempre in Marte le medesime cose; e che, messo il pianeta nel campo telescopico, ad altro non si debba pensare, che a far un *ritratto* somigliante più o meno a quello che si vede nel suo dischetto. Appena cominciato il suo lavoro, l'osservatore si avvede ben persto, che le macchie, le linee, e tutto il resto vanno cambiando d'aspetto lentamente, ma pur in modo sensibile in capo ad una mezz'ora; la scena va cambiando, e dopo tre o quattro ore si trova intieramente cambiata, nuove cose compaiono, mentre gli oggetti di prima o sono scomparsi, oppure se ancora si vedono, son talmente cambiati di posto, e deformati nel loro contorno, da esser appena riconoscibili. Questo è una conseguenza della rotazione di Marte intorno al suo asse, la quale si compie in 24 ore e 40 minuti; ed è facile vedere quale imbarazzo nasca da questo fatto a chi debba rappresentare tante particolarità a misura d'occhio.

Considerando le cose in massa, si distinguono nella superficie di Marte le regioni di color più chiaro, le quali sono anche le più luminose, alle quali, in conformità di ciò che si usa anche per la Luna, si suole dare la qualificazione puramente convenzionale di *terre* o di *continenti*, mentre alle parti ombreggiate con tinte più oscure si assegna il nome, egualmente convenzionale, di *mari* e di *laghi*. Questi nomi non servono che per uso di classificazione non intieramente rigorosa, essendovi (oltre alle bianche calotte polari) alcune regioni di carattere intermedio. Vi sono anche regioni di colore variabile, che sembrano appartenere ora all'una ora all'altra classe secondo la direzione in cui il Sole le illumina, o secondo la direzione in cui son vedute dall'osservatore, in dipendenza di cause per adesso ancora sconosciute. Tali variazioni possono farsi entro limiti estesissimi, che dal bianco puro possono andare fino al nero assoluto, passando per gradazioni diverse di rosso, di giallo, di grigio e di bruno. Di tali vicende alcune si ripetono ad ogni rotazione del

pianeta con una certa regolarità, altre hanno un andamento parallelo alla stagione che domina nella località considerata del pianeta. Il quale è soggetto alle stesse varietà di riscaldamento e d'illuminazione che hanno luogo nelle diverse regioni della Terra. Alcune di tali vicende d'aspetto sono in diretta connessione collo stato meteorologico e termico, ed è possibile che vi si rendano in qualche modo visibili a noi i diversi stadi di un ciclo vegetativo, secondo un'ipotesi abbastanza probabile, studiata e propugnata principalmente dall'astronomo americano Lowell. Ma l'osservazione prolungata per molti anni ha fatto riconoscere un'altra classe di fenomeni che non sembra dipendere dal periodo delle stagioni, e potrebbero anche sembrare irregolari. In certe località un dato aspetto di cose che sembrava permanente, viene a mutarsi d'un tratto per intervalli, dà luogo ad altre combinazioni, che scompaiono alla loro volta, per dar luogo ad un rinnovamento più o meno esatto del primitivo stato di cose; tutto questo saltuariamente ed in modo, che si potrebbe dire accidentale.

La carta annessa (fig. 17 a pagina 224) può dare un'idea approssimata del modo con cui sono distribuite le macchie principali di Marte e la loro disposizione rispetto ai poli ed all'equatore del pianeta. Essa è divisa in due emisferi al modo dei mappamondi ordinari, in maniera però da collocare in alto il polo australe ed in basso il polo boreale; ciò per render più facile la comparazione con quello che si vede nel telescopio astronomico. In questo infatti, che rovescia le immagini degli oggetti, suole il polo nord apparire nelle parti inferiori del disco, e il polo sud nelle parti superiori (1). La figura è

(1) Questo vale per gli osservatori collocati nei climi più settentrionali della Terra. Per gli osservatori dei paesi australi succede l'opposto: il polo boreale appare in alto del disco, il polo australe in basso.

di carattere schematico, come accade nelle nostre carte geografiche; essa non ha per iscopo di dare una *pittura* imitante l'aspetto del pianeta come se si volesse farne un ritratto, ma serve soltanto a facilitarne l'esposizione descrittiva. — Astraendo dalle regioni polari, le quali sono sempre o quasi sempre occupate dal bianco polare, si vede subito che le aree più o meno ombreggiate, dette *mari*, occupano forse un terzo della superficie intiera di Marte, e sono divise in due parti o gruppi molto disuguali. In basso abbiamo il *Mar Boreo*, che circonda quasi da ogni parte il polo nord, e da una parte si avvicina all'equatore fin quasi al parallelo 40°. In alto abbiamo il *Mare Australe* che è molto più vasto e spinge entro le aree continentali una gran quantità di ramificazioni denominate sulla carta coi nomi di *Gran Sirte*, *Mare Eritreo*, *Golfo delle Perle*, *Mare Cimmerio*, *Mare Tirreno*, *Lago del Sole*, ecc. Fra quei due mari *Boreo* ed *Australe* si stende la zona continentale segnata in giallo, sparsa qua e là di linee e di macchie più oscure. Entro i due grandi mari poi sono sparse regioni che si mostrano come grandi isole o penisole, quali *Hesperia*, *Atlantis*, *Hellas*, *Argyre*, *Baltia*, *Nerigos*, colorate in giallo per lo più, ma non in modo permanente; talora impallidiscono, ed anche si oscurano e prendono il color grigiastro o bruno delle macchie propriamente dette; solo mostrano questo colore con minor intensità.

Già verso la metà del secolo passato molti particolari di questa topografia areografica erano stati esplorati e disegnati da abili osservatori, quali Secchi, Dawes, Kaiser, Maedler, Lockyer, ed alcuno di essi aveva anche intraveduto qua e là curiose configurazioni di macchiette e di linee; ma non erano riusciti ad afferrarne con evidenza le forme. Soltanto nel 1877, trovandosi il pianeta in una delle sue maggiori vicinanze alla Terra (in posizione poco diversa da quella occupata nell'autunno ora decorso), si ebbe l'oppor-

tunità di studiare in buone condizioni e con maggior successo quei particolari prima confusamente intraveduti e di convincersi che tutta la superfice di Marte, ma più specialmente le aree luminose continentali, sono occupate da un reticolato di linee sottili, formanti una specie di triangolazione o di poligonazione, come si può vedere nella carta qui annessa (fig. 17 a pag. 224). Queste linee sono tracciate sulla superfice del pianeta o forse entro la sua atmosfera; ognuna d'esse corre per lunghissimi tratti, serbando per lo più una direzione costante senza angoli nè curvature violente, formando anzi (rigorosamente o almeno prossimamente) sul globo di Marte ciò che i geometri chiamano un circolo massimo. Il loro corso appare continuo, senza lacune apprezzabili alla visione telescopica, e si estende da pochi gradi (un grado di Marte equivale press'a poco a 60 dei nostri chilometri), fino ad occupare talvolta in lunghezza un terzo od un quarto della circonferenza totale del pianeta (la quale è di 21600 chilometri). La larghezza è molto varia; per alcune giunge a 100 o 200 chilometri, per altre ad alcune decine di chilometri, per alcune più sottili e più difficili a vedere la larghezza non supera che alcune unità della stessa misura. Perciò assai diversa è la facilità con cui si possono riconoscere e figurare con disegno; e bisogna aggiungere, che questa facilità è molto variabile secondo il tempo e sembra dipendere in molti casi dalla stagione che domina lungo il loro corso. Spesso si vede qualcuna di esse traversare una delle nevi polari, formando una traccia nerissima, che ha tutto l'aspetto di una spaccatura di esse nevi. Queste linee sono i così detti *canali* di Marte, così denominati per pura convenzione analoga a quella per cui alle grandi macchie si è dato il nome di *mari* e di *continenti*. Ma della loro natura finora poco o niente si è potuto accertare. Il nome di *canali* però e la regolarità loro apparente ha però indotto molti uomini di calda fantasia a ravvisare in essi opere artificiali gigantesche di esseri intelligenti;

ipotesi questa che per ora non è ancora stato possibile dimostrare che sia vera o falsa. Gli spiriti scettici hanno poi facilmente troncato la questione, negando a queste formazioni ogni esistenza obbiettiva, e dichiarandole come fantasmi creati dall'immaginazione sulla base di visione confusa ed imperfetta.

Quando un canale è collocato in modo da traversare il disco di Marte nel suo centro, appare come una linea retta formante un diametro. Ma girando il pianeta intorno al suo asse, in capo ad una o più ore, il canale si presenta in prospettiva molto diversa, e s'incurva tanto più fortemente in apparenza quanto più è distante dal centro. Questa variazione di forma e di curvatura apparente si possono spiegare esattamente secondo le regole della prospettiva facendo l'ipotesi, che i canali siano aderenti alla superfice del pianeta, o almeno pochissimo distanti; la concordanza è tale, che di quell'ipotesi nessuno può dubitare. Questo fatto, che è stato verificato centinaia e migliaia di volte, basta da solo a dissipare qualunque dubbio potesse nascere intorno alla realtà dei canali, e non lascia luogo a parlar d'illusioni ottiche.

Tutti i canali hanno la proprietà di correre da un mare ad un altro, o dal mare ad un lago, o fra due laghi, o finalmente da un canale ad un altro. Non si ha esempio di un canale, di cui un'estremità sia libera e termini isolata nello spazio continentale che la circonda, senza connettersi da qualche parte con un mare, o con un lago, o con un canale, o con un gruppo d'intersezione di più canali. Anzi tutte le estremità dei canali là dove terminano in uno dei mari o dei laghi, sogliono essere molto ben definite e spesso sono segnate da una macchia oscura, che in molti casi presenta l'aspetto di una larga foce in forma di tromba, per cui l'ipotetico canale potrebbe dirsi sboccare nell'ipotetico mare vicino, o nell'ipotetico lago vicino. E similmente quando due canali s'incontrano, spesso

nella loro intersezione si vede una piccola macchia oscura, per lo più di aspetto rotondeggiante e di diametro non molto superiore alla larghezza dei canali medesimi. Simili macchiette sono denominate *fonti*, per analogia col resto della nomenclatura. Il loro numero è assai variabile, in alcuni anni se ne videro non più di due o tre, in altri anni più decine sembrano trovarsi frequenti in certe regioni del pianeta a preferenza di certe altre. Nel 1907 la fotografia ne ha rivelato un gran numero di nuove, mentre altre prima evidenti cessarono di esser visibili. Quando un canale ne incontra parecchi altri, avviene qualche volta che nelle sue intersezioni con questi si vedono lungh'esso allineati molti di questi punti oscuri, i quali allora formano una serie bene ordinata, come perle infilzate in un filo. È da credere, che tutte queste *fonti* o piccole macchie rotondeggianti siano ciascuna il risultato dell'incontro di due canali; ma ciò non risulta con evidenza dall'osservazione, essendo frequenti i casi in cui essi appaiono isolati affatto nel mezzo dei continenti senza alcuna connessione. Ma è probabile che la connessione esista e si faccia per canali troppo sottili per esser veduti coi nostri attuali telescopi.

In parecchi luoghi della superfice dei continenti i canali s'incontrano tre o quattro o più insieme formando piccole poligonazioni e dando luogo ad un insieme di macchie più complicate. Nascono allora macchie oscure per lo più irregolari del diametro di più centinaia di chilometri, e si vedono sulla carta designati con nomi speciali, come *Lago del Sole*, *Trivio di Caronte*, *Propontide*, ecc. Sono di forma più o meno regolare, secondo che i canali da cui sono formati concorrono più o meno esattamente in un medesimo punto. Questi laghi sono anch'essi molto variabili di colore, di forma e di estensione; talvolta scompaiono affatto, o si dividono in più parti, e presentano fenomeni singolarissimi.

Ma riguardo ai canali e ai laghi il fenomeno più generale e più notabile, e che nel mondo degli scettici ha provocato il maggior scandalo è quello assai frequente del loro sdoppiarsi, quando formano ciò che si chiama una *geminazione*. Un canale che (fig. 18 a pag. 225) prima appariva come linea schiettamente semplice, di un tratto si trasforma in un sistema di due linee quasi sempre uguali e parallele fra di loro. L'intervallo fra le due linee è diverso da un caso all'altro, come pure la sua proporzione alla grossezza delle linee stesse. Anche queste geminazioni sono variabili col tempo. Non solo sembra esser diverso in diversi tempi l'intervallo fra le due linee, ma la visibilità di esse è soggetta a vicenda, di cui non è ancora stato possibile scoprire la norma. Talvolta una linea diventa più debole dell'altra e finisce per sparire, l'altra rimanendo immutata e visibile come canale isolato. I fenomeni che accompagnano la formazione delle geminazioni non si sono ancora potuti completamente studiare; ma la durata del processo non è mai molto lunga; le geminazioni compaiono tali da un giorno all'altro, durano qualche giorno o qualche settimana, poi si riducono di nuovo a canali semplici, od anche entrambi i loro canali scompaiono affatto. La loro apparizione succede in diverse epoche con diversa frequenza; talora mancano affatto o sono in piccol numero, in altre epoche il pianeta ne è quasi tutto occupato, ed in certe occasioni se ne son viste fino a 30 simultaneamente. Esse mancarono affatto nel 1877; frequentissime invece si mostrarono nel 1883, nel 1888 ed in altre epoche. Nell'apparizione dell'autunno passato (per quanto risulta dalle notizie fino ad oggi pubblicate) esse non sono mancate, ma non sembra fossero molto abbondanti. Un certo numero se ne trova pure nelle splendide fotografie di Marte, che il Professor Lowell ottenne durante l'opposizione del 1907.

Di tutti gli svariati e complicati fenomeni di Marte quello delle geminazioni è il più singolare ed anche,

a quanto sembra, il più difficile a interpretare. Ad esso correlativo, e quasi contrapposto è un altro, l'apparizione e disparizione dei *ponti*. Sono strisce luminose, regolari, rettilinee ed uniformi, che di quando in quando compaiono attraverso dei mari e dei laghi, formando di essi una separazione completa. Il più facile e più visibile di tutti è quello designato sulla carta col nome di *Ponte di Achille*, che rassomiglia ad un argine o una diga posta fra il Lago *Niliaco* e quella parte del Mar Boreo che è distinta col nome di *Golfo Acidalio*. Il Ponte d'Achille è largo forse 200 chilometri e lungo poco meno di 1000. È quasi permanente, ma talvolta si vede interrotto più o meno completamente, come è avvenuto nel 1888. Un altro ponte divide in due parti quasi uguali il Lago del Sole, ma non è sempre visibile: esso è apparso nel 1890 ed ultimamente nel 1907. Queste zone luminose in campo oscuro sembrano aver qualche relazione con le zone luminose, che nelle geminazioni separano l'una dall'altra le due linee oscure che costituiscono la geminazione.

Lo studio di tutti questi enigmi è appena cominciato; nulla ancora vi ha di certo sui principi a cui si dovrà appoggiare una razionale interpretazione dei medesimi. Tutto dipenderà dai progressi che farà nei prossimi anni la rappresentazione fotografica di Marte. La questione farà un gran passo quando si otterranno fotografie tali, che sopra di esse sia possibile prendere misure precise.

Un altro passo importante è stato fatto dal Signor Lowell, inaugurando lo studio spettroscopico dell'atmosfera di Marte. Egli dimostrò che quest'atmosfera comprende, fra i suoi componenti, il vapor d'acqua e l'ossigeno. Con queste scoperte egli ha trovato un importante argomento in favore dell'ipotesi da lui con molto ingegno e con gran copia di osservazioni sostenuta, che Marte sia pur sede della vita come la Terra; e che i fenomeni di variazione osservati sul pianeta

sian dovuti principalmente alla vegetazione razionalmente governata da esseri intelligenti (1).

---

(1) Il lettore che vorrà esser pienamente informato di tutto quello che è stato osservato nel pianeta Marte e vorrà interessarsi alle speculazioni ed alle discussioni ardenti cui ha dato luogo sulla natura fisica del pianeta, e sulla possibilità che esso sia sede di vita organica, anzi anche di esseri intelligenti, troverà di che soddisfarsi nella grande opera di Flammarion, *La Planète Mars*, di cui son già usciti due volumi e di cui si promette la continuazione: essa formerà col tempo una serie di annali del pianeta. Può inoltre consultare: Lowell, *Mars and its canals*, Nuova York, 1906; Morse, *Mars and its mystery*, Boston, 1906; Lowell, *Mars as the abode of life*, Nuova York, 1908.

XI.

SULLA ROTAZIONE E SULLA COSTITUZIONE FISICA DEL PIANETA MERCURIO

Dagli *Atti della Reale Accademia dei Lincei*, 1889, Serie Quarta: Rendiconti, Vol. V, 2º semestre.

Discorso letto nella adunanza solenne del giorno 8 dicembre 1889 alla presenza delle LL. MM.

Fra tutti gli antichi pianeti nessuno è difficile ad osservare quanto Mercurio, e nessuno presenta tanti impedimenti per lo studio così della sua orbita, come della sua natura fisica. Rispetto all'orbita basti dire, che Mercurio è l'unico pianeta, di cui sia stato fino ad oggi dichiarato impossibile l'assoggettare il corso alle leggi della gravitazione universale, e la cui teoria, quantunque elaborata dalla sagace mente di un Leverrier, ancor presenti notabili discordanze colle osservazioni. E quanto alla natura fisica, ben poco se ne conosce, e quel poco si può dire che quasi tutto dipende da osservazioni ormai antiche di un secolo, fatte a Lilienthal dal celebre Schroeter.

Difficilissimo infatti è l'esame telescopico di questo pianeta. Descrivendo intorno al Sole un'orbita assai angusta, Mercurio non appare mai in cielo tanto separato dal gran luminare, da poter essere esaminato nella piena oscurità della notte, almeno in queste nostre latitudini. Nè possono riuscire se non raramente osservazioni fatte nel periodo crepuscolare avanti il sorgere, o dopo il tramontar del Sole; perchè sempre in tal circostanza si trova tanto basso verso l'orizzonte e tanto soggetto alle agitazioni ed alle ineguali refrazioni degli infimi strati atmosferici, da presentar per lo più nel telescopio quell'aspetto incerto e fiammeggiante, che all'occhio nudo si accusa

con una forte scintillazione; pel qual motivo già gli antichi lo chiamavano *Stilbon*, cioè il scintillante. Essendo dunque impossibili le osservazioni di notte, e raramente possibili nel crepuscolo, non rimane altro scampo che tentarle nella piena luce del giorno, in presenza del Sole sempre vicino, a traverso di una atmosfera sempre illuminata.

Alcuni tentativi fatti nel 1881 avendomi persuaso, esser possibile non solo di vedere le macchie di Mercurio nella piena luce del giorno, ma ancora di ottenere per esse macchie una serie di osservazioni abbastanza connessa e continuata, col principio del 1882 determinai di fare uno studio regolare di questo pianeta; e negli otto anni che seguirono ebbi Mercurio nel campo telescopico parecchie centinaia di volte, il più spesso con poco frutto e perdendovi assai tempo, ora a causa dell'agitazione atmosferica, che durante il giorno è spesso molto grande (specialmente nei mesi d'estate), ora a causa della insufficiente trasparenza dell'aria. Nondimeno, usando la dovuta pazienza più di 150 volte sono riuscito a veder le macchie del pianeta con maggiore o minor precisione, ed a farne anche talvolta qualche disegno abbastanza soddisfacente. Al qual fine ho adoperato da principio il nostro minore telescopio di Merz; il quale comechè composto di ottimi vetri, pure spesso riusciva inadeguato alla difficoltà di queste osservazioni. Ma essendosi frattanto collocato nella Specola di Milano il nuovo grande Refrattore Equatoriale, che si può dire sia l'opera più perfetta uscita dalle officine di Monaco, col suo aiuto mi fu dato di proseguire il lavoro con maggior successo, ed arrivare a risultati più completi e più sicuri. Ed a proposito di questo Refrattore non posso ricordare senza viva emozione di gratitudine il caldo interesse dimostrato dalle Maestà Vostre undici anni or sono, nell'occasione che si trattò di provvedere per la Specola di Milano questo nobile istrumento; nè mi è possibile dimenticare la generosa premura, con cui quest'Ac-

cademia, e a capo di essa Quintino Sella di gloriosa memoria, vollero appoggiare di autorevole voto la relativa proposta; e la grande maggioranza, di cui l'onorarono ambi i rami del Parlamento. Le novità, che questo telescopio ha rivelato sul pianeta Mercurio, io considero come i risultati più importanti e più pregevoli, che con esso siansi finora ottenuti; col dare di tali novità in questo momento e in questo luogo la prima notizia, mi sembra di adempire un dovere.

Prima dirò della rotazione del pianeta, la quale ho trovato esser molto diversa da quanto si era fino ad oggi creduto sulla fede di poche ed insufficienti osservazioni fatte ora è un secolo con imperfetti telescopi. Di questa rotazione, a stabilir la quale ho dovuto faticar più anni, il modo e il carattere principale si può enunciare in poche parole, dicendo che Mercurio gira intorno al Sole in modo simile a quello con cui la Luna gira intorno alla Terra. Come la Luna descrive il suo corso intorno alla Terra, mostrandoci sempre a un dipresso la medesima faccia e le medesime macchie; così Mercurio, nel percorrere la sua orbita intorno al Sole, presenta al gran luminare sempre a un dipresso il medesimo emisfero della sua superfice.

Ho detto *a un dipresso* il medesimo emisfero e non *esattamente* il medesimo emisfero. Mercurio infatti è soggetto, come la Luna, al fenomeno della *librazione*. Osservando la luna piena anche con un piccolo telescopio in epoche molto diverse, si nota che in generale le medesime macchie occupano la regione centrale del suo disco; ma studiando più minutamente queste macchie centrali e i rapporti delle loro distanze dall'orlo orientale e dall'orlo occidentale non si tarderà a riconoscere (come per la prima volta fece Galileo ora sono circa 250 anni), che elle vanno oscillando di una quantità sensibile ora verso destra, ora verso sinistra; ciò che chiamasi la *librazione di longitudine*. Un tal fatto proviene principalmente da questo, che il punto a cui la Luna in perpetuo e quasi esatta-

mente (1) rivolge uno dei suoi diametri non è già il centro della Terra, e neppure il centro dell'orbita ellittica lunare, ma quello dei due fochi di essa orbita, che non è occupato dalla Terra, il qual punto chiamasi dagli astronomi il foco superiore. A chi si trovasse in questo punto la Luna dovrebbe dunque presentare sempre il medesimo aspetto. A noi invece che siamo da quel punto distanti di 42 mila chilometri (in media), la Luna si mostra un poco diversamente secondo i tempi, rivolgendo verso di noi ora alquanto più delle sue regioni orientali, ora alquanto più delle occidentali.

Simile affatto è il modo con cui Mercurio si presenta al Sole durante le varie fasi del suo giro. Il pianeta dirige costantemente uno dei suoi diametri non già verso quel foco della sua orbita ellittica, che è occupato dal Sole; ma verso l'altro foco, verso il foco superiore. Or questi due fochi essendo distanti fra di loro non meno di *un quinto* di tutto il diametro dell'orbita di Mercurio, la librazione del pianeta è molto grande; e quel punto di Mercurio, che riceve verticalmente i raggi solari, si va spostando sulla superfice del pianeta, e fa lungo l'equatore del medesimo un moto oscillatorio la cui ampiezza è di 47 gradi, cioè più che un ottavo di tutto il giro dell'equatore stesso; e il periodo completo di andata e ritorno è uguale al tempo impiegato da Mercurio a percorrere tutta la sua orbita, cioè di quasi 88 giorni terrestri. Mercurio adunque rimane orientato verso il Sole, come un ago magnetico verso un pezzo di ferro; tale orientamento tuttavia non è tanto costante, da non ammettere un certo moto oscillatorio del pianeta verso oriente e

---

(1) Negligendo cioè la piccola inclinazione dell'equatore lunare rispetto al piano dell'orbita, e supponendo che il moto della Luna in essa orbita si faccia secondo la così detta *ipotesi ellittica semplice*, nella quale si trascurano le perturbazioni dell'anomalia vera, e certi termini di questa che son dell'ordine del quadrato dell'eccentricità.

verso occidente, simile a quello che fa la Luna rispetto a noi.

Questo moto oscillatorio è della massima importanza per lo stato fisico del pianeta. Supponiamo infatti che esso non esistesse, e che Mercurio presentasse alla luce ed al calore del Sole sempre il medesimo emisfero, l'altro emisfero rimanendo avvolto in perpetua notte. Quel punto della superfice, che forma il polo centrale dell'emisfero illuminato, avrebbe eternamente il Sole a perpendicolo; gli altri luoghi di Mercurio a cui giunge il Sole coi suoi raggi, lo vedrebbero sempre sulla medesima plaga dell'orizzonte alla medesima altezza, senza alcun moto apparente, nè altra sensibile mutazione. Dunque nessuna vicenda di giorni e di notti, e nessuna varietà di stagioni; chè anzi rimanendo in presenza del Sole sempre invisibili le stelle, e Mercurio non avendo Luna, è difficile comprendere in qual modo nelle regioni di perpetuo giorno si potrebbe ottenere un computo regolare dei tempi!

Le cose stanno in realtà quasi a quel modo sopra Mercurio, ma non intieramente a quel modo. Quel moto oscillatorio, che vedemmo avere il corpo di Mercurio rispetto al Sole, da un osservatore collocato alla superfice del pianeta sarà attribuito al Sole stesso, appunto come noi sogliamo dare al Sole quel moto rotatorio diurno, che in realtà è della Terra. Mentre dunque a noi il Sole sembra circolare in modo continuato da oriente ad occidente, determinando in 24 ore il periodo del giorno e della notte; uno spettatore collocato sopra Mercurio vedrà il Sole descrivere con moto alternativo di va e vieni un arco di 47 gradi sulla volta celeste, del quale arco la posizione rispetto all'orizzonte dello spettatore rimarrà in perpetuo la medesima. Un ciclo completo di tale doppia oscillazione del Sole durerà quasi esattamente 88 giorni terrestri. E secondo che il predetto arco del moto oscillatorio solare è tutto *sopra* l'orizzonte dello spettatore, o tutto *sotto* l'orizzonte, o parte sopra e parte sotto, si

avranno apparenze diverse, e una diversa distribuzione di calore e di luce. Pertanto in quelle regioni di Mercurio dove l'arco dell'oscillazione solare sta tutto intero sotto l'orizzonte locale, non si vedrà mai il Sole, e si avrà oscurità continua. In tali regioni, che occupano circa tre ottavi di tutto il pianeta, la notte densa ed eterna non potrà esser temperata che da eventuali sorgenti di luce, come da refrazioni e da crepuscoli atmosferici, da aurore polari e da consimili fenomeni, a cui si aggiungerà il debolissimo lume fornito dalle stelle e dai pianeti. Un'altra parte di Mercurio, che pure comprende tre ottavi di tutta la superfice, vedrà tutto l'arco dell'oscillazione solare sopra l'orizzonte; tali regioni saranno continuamente esposte ai raggi del Sole, senz'altra variazione che quella di una maggiore o minore obliquità nelle varie fasi del periodo di 88 giorni; per esse non sarà possibile notte alcuna. E da ultimo vi sono altre regioni, comprendenti in complesso la quarta parte di tutto il pianeta, per le quali l'arco dell'oscillazione apparente del Sole sta parte sull'orizzonte e parte sotto. Per queste soltanto saranno possibili alternative di luce e di oscurità. In queste regioni privilegiate l'intero periodo di 88 giorni terrestri si dividerà in due intervalli, uno tutto di luce, l'altro tutto di oscurità; la durata dell'uno e dell'altro sarà uguale in certi luoghi, in altri prevarrà invece la luce o l'oscurità in maggiore o minore misura, secondo la posizione del luogo sopra la superfice di Mercurio, e secondo che del predetto arco una parte maggiore o minore sta sopra l'orizzonte.

Sopra un pianeta così ordinato la possibilità della vita organica dipenderà dall'esistenza di un'atmosfera capace di distribuire il calore solare sulle diverse regioni, in modo da attenuare gli straordinari eccessi di caldo e di freddo. La presenza di una tale atmosfera sopra Mercurio fu già congetturata da Schroeter ora è un secolo; nelle mie osservazioni ne trovo più evidenti indizi, che concorrono ad affermarla con una probabilità molto prossima alla certezza.

Un primo indizio deriva dal fatto costante, che le macchie del pianeta, visibili per lo più quando si trovano nelle regioni centrali del disco, si vedon meno, od anche spariscono nell'avvicinarsi al contorno circolare del medesimo; il che ho potuto assicurarmi non provenire semplicemente dalla maggiore obliquità della prospettiva, ma propriamente dal fatto, che in quella posizione perimetrale vi è maggior ostacolo alla vista, e questo sembra non possa essere altro, che la maggior lunghezza del cammino, che i raggi visuali partiti dalle macchie non centrali devono percorrere entro l'atmosfera di Mercurio per giungere fino a noi. E da questo traggo ragione di pensare che l'atmosfera di Mercurio sia meno trasparente che quella di Marte e si avvicini di più, sotto questo riguardo, a quella della Terra.

Oltre a questo, il contorno circolare del pianeta, dove le macchie diventan meno visibili, appare sempre più luminoso del resto, ma spesso luminoso irregolarmente, in certe parti più, in altre meno; e talvolta si vedono lungo questo contorno aree bianche assai brillanti, le quali durano in vista parecchi giorni di seguito, ma sono però generalmente mutabili, ed ora stanno in una parte, ora in altra. Attribuisco questo fatto a condensazioni nel seno dell'atmosfera di Mercurio, la quale con tanta maggior forza deve riflettere verso lo spazio celeste i raggi solari, quanto più diventa opaca. Tali aree bianche si vedono ancora spesso nelle parti più interne del disco, ma allora non sono più così brillanti, come sul contorno.

Ma vi ha di più. Le macchie oscure del pianeta, benchè permanenti quanto a forma e disposizione, non sono sempre egualmente manifeste, ma talvolta sono più intense, tal altra più pallide; ed accade ancora, che l'una o l'altra diventi per qualche tempo invisibile affatto; il che non saprei attribuire ad altra causa più ovvia, che a condensazioni atmosferiche di natura analoga alle nostre nuvole, le quali impediscono più

o meno completamente la veduta del suolo di Mercurio in alcune parti or qua or là. Un'apparenza perfettamente identica devono presentare le regioni annuvolate della Terra a chi le contempli dalle profondità dello spazio celeste.

Circa la natura della superfice di Mercurio poco si può ricavare dalle osservazioni fatte sin qui. Anzitutto è da notare, che $^3/_8$ di tal superfice rimangono inaccessibili ai raggi solari, e quindi anche alla nostra vista; nè vi è molta speranza di saperne mai qualche cosa di certo. Ma neppure della parte visibile a noi sarà facile giungere a cognizione precisa e sicura. Le macchie oscure, anche quando non sono offuscate nel modo accennato poc'anzi da condensazioni atmosferiche, si presentano sempre sotto forma di strisce d'ombra estremamente leggera, che nelle comuni circostanze soltanto con molta fatica e con grande attenzione si possono riconoscere. Nelle migliori occasioni queste ombre hanno una tinta bruna e calda, come di sepia, che però sempre poco si distacca dal colore generale del pianeta, il quale d'ordinario è un roseo chiaro declinante al cupreo. Di queste forme o strisce così vaghe e diffuse è difficilissimo dare una rappresentazione grafica soddisfacente, specialmente a causa della indeterminazione dei contorni, la quale lascia sempre luogo ad un certo arbitrio. Tale indeterminazione di contorni tuttavia io ho motivo di credere, che sia nella maggior parte dei casi una pura apparenza, derivata da insufficiente potere ottico dell'istrumento; perchè quanto più bella è l'immagine, e quanto più perfetta è la visione, tanto più manifesta riesce una tendenza di quelle ombre a risolversi in una quantità di minuti particolari. E non vi è dubbio che impiegando un telescopio più potente, tutto apparirebbe risoluto in forme più minute; appunto come già con un semplice binocolo da teatro si mostrano risolubili in infiniti particolari quelle masse d'ombra irregolari e mal distinte, che ad occhio nudo tutti vedono nella Luna.

Considerata la difficoltà di studiar bene le macchie oscure di Mercurio, non sembra facile esporre un'opinione alquanto fondata sulla loro natura. Esse potrebbero semplicemente dipendere dalla diversa materia e struttura degli strati solidi superficiali, come sappiamo essere il caso della Luna. Ma se alcuno, tenendo conto del fatto che su Mercurio esiste un'atmosfera capace di condensazioni e forse anco di precipitazioni, volesse ravvisare in quelle macchie oscure qualche cosa d'analogo ai nostri mari, non credo che si avrebbero argomenti decisivi in contrario. E siccome quelle macchie non sono raggruppate in grandi masse, ma stanno disposte per aree e zone di non molta larghezza, molto ramificate, e con sufficiente uniformità alternate da spazi chiari; si dovrebbe concluderne, non esistere su Mercurio vasti oceani e grandi masse continentali; ma penetrarsi fra loro le aree liquide e solide in modo reciproco con vicenda frequente; dando luogo così ad una condizione di cose assai diversa da quella che esiste sulla Terra, e che forse noi potremmo invidiare.

Abbiamo ad ogni modo in Mercurio, come in Marte, un altro mondo assai diverso dal nostro; illuminato e riscaldato dal Sole non solo con molto maggior forza che la Terra, ma secondo norme intieramente diverse; e dove certamente la vita, se pure vita vi esiste, trova condizioni così diverse da quelle a cui siamo avvezzi, che appena osiamo immaginarle. La perpetua presenza del Sole quasi a perpendicolo su certe regioni, e la perpetua assenza del medesimo dalle regioni opposte, parrebbe a noi qualche cosa d'intollerabile; tuttavia è da riflettere, che appunto un simile contrasto deve produrre una circolazione atmosferica più rapida, più forte, e più regolare di quella che spande gli elementi della vita sulla Terra; e forse per questo può avvenire, che su tutto il pianeta si produca un equilibrio di temperatura altrettanto completo, e forse anche più completo, che presso di noi.

Per questo suo modo di aggirarsi intorno al Sole sempre voltandogli la medesima faccia, Mercurio si distingue in modo cospicuo dagli altri pianeti; i quali tutti (almeno per quanto consta dai casi che si sono potuti determinare) ruotano rapidamente intorno al loro asse nello spazio di poche ore. Questo modo però, che nei pianeti sarebbe unico, sembra invece assai comune nei satelliti; tale almeno risulta verificarsi in tutti quei casi, in cui di un satellite si è potuto investigare il moto rotatorio. Che il nostro proprio satellite abbia sempre a memoria d'uomini mostrato alla Terra il medesimo emisfero, è certo anche da istoriche testimonianze; perchè già Dante parla di *Caino e le spine*, e fra gli opuscoli di Plutarco ve ne ha uno intitolato: *Della faccia che si vede nel disco della Luna.* Che i satelliti di Giove mostrino sempre la medesima faccia a questo loro pianeta principale, è probabile per i tre primi, e per il quarto è indubitatamente dimostrato dalle osservazioni di Auwers e di Engelmann. Lo stesso fatto aveva già verificato Guglielmo Herschel per Iapeto, l'ottavo e più lontano satellite di Saturno, Parrebbe dunque norma generale pei satelliti quello, che nel caso di Mercurio è eccezione fra i pianeti.

Tale eccezione tuttavia non sembra senza motivo, e probabilmente è connessa col fatto della grande vicinanza di Mercurio al Sole, e forse ancora coll'altro fatto, dell'essere Mercurio privo di satelliti: e dipende, a quanto io penso, dal modo con cui Mercurio è stato generato nel tempo in cui il sistema solare venne prendendo la sua forma attuale. La singolarità di Mercurio costituisce pertanto un documento nuovo da aggiungere a quelli che si devono considerare facendo lo studio della cosmogonia solare e planetaria.

XII.

DIMENSIONI TERRESTRI E COSMICHE

Da *La Natura*, Rivista delle Scienze e delle loro applicazioni alle industrie ed alle arti. Milano, Fratelli Treves, Editori. — N. 48, 49, 52, 53, 54 (23, 30 novembre, 21, 28 dicembre 1884, 4 gennaio 1885).

I.

In quest'articolo mi propongo di dare ai lettori della *Natura* un'idea del grado di certezza, con cui gli astronomi hanno potuto determinare le distanze e le dimensioni dei corpi celesti, la Terra compresa: e di esporre brevemente i più importanti progressi che ultimamente si sono fatti in questa materia. Corrono nel pubblico su tale proposito opinioni molto diverse: vi è lo scettico, il quale non avendo bene studiato il suo Euclide, non riesce a capire come si possa misurare una distanza senza percorrerla tutta, applicandovi il metro dal principio sino alla fine: e vi è l'entusiasta, il quale non contentandosi delle sobrie deduzioni, che la geometria può fondare sui fatti osservati, trova il mondo degli astronomi ancora troppo stretto, e lo allarga secondo le proporzioni che gli detta la propria fantasia. Desidero che la seguente esposizione possa inspirare ai primi una razionale fiducia, correggendo i voli troppo temerari dei secondi.

Misurare una lunghezza significa determinare quante volte in essa è contenuta un'altra lunghezza presa come tipo o come unità. L'operazione del misurare non si può mai eseguire con precisione assoluta; per molta diligenza che vi s'impieghi, e per molte volte che si ripeta la misura, rimarrà sempre un certo errore, che si può fino ad un certo segno impiccolire, non mai intieramente evitare; onde il risultato non è mai *esatto*, ma sempre più o meno approssimato. Questo grado di approssimazione si può accrescere,

perfezionando i metodi di misura, e spendendovi maggior tempo e maggiore studio; si arriva però assai presto ad un limite, al di là del quale ogni guadagno che si fa in esattezza, non sta più in proporzione colla spesa, col tempo, e col lavoro impiegato. Un ulteriore progresso allora non si può aspettare che dall'invenzione di nuovi metodi, e dall'introduzione di nuovi principi nell'arte di misurare. Il grado di approssimazione varia poi altresì colla grandezza della linea che si misura: ed in generale le linee più brevi si misurano più facilmente e con maggiore sicurezza che le più lunghe.

La più grande precisione e la minima difficoltà ha luogo nella misura di una lunghezza pochissimo diversa dal campione che serve a misurare. Una simile operazione si fa ogni volta che si tratta di comparare un campione metrico con un altro preso come tipo fondamentale. Tutto si riduce allora a determinare la piccolissima differenza che può esservi tra l'uno e l'altro; differenza che oggi si è imparato a stimare con istrumenti molto perfetti. L'ufficio internazionale di pesi e misure, che negli ultimi anni è stato istituito a Parigi col concorso di tutti i popoli civili, ha per scopo principale di determinare appunto le differenze dei campioni normali di misura posseduti dai vari stati, riferendoli al tipo metrico fondamentale, che è un'asta di platino esistente a Parigi negli archivi del ministero degli interni, e la cui lunghezza a 0° è stata assunta come definizione del metro. Tutti i particolari delle comparazioni metriche eseguite in questo istituto sono descritti in una apposita pubblicazione (1), e dal loro esame si può giungere ad una estimazione abbastanza approssimata del grado di precisione che in tali operazioni si può conseguire. Per campioni metrici debitamente costruiti, e dei quali

(1) *Travaux et Mémoires du Bureau International de Poids et Mesures*, tome III, Paris, 1884.

si conosca il coefficiente di dilatazione termica, la determinazione della lunghezza relativamente al metro normale può farsi con un errore minore di un *micron*, cioè di un millesimo di millimetro (1), e nella maggior parte dei casi si può credere che l'errore probabile non superi la metà di un *micron*, ossia la *duemilionesima* parte di tutto il metro. Questa, che dobbiamo ritenere come la massima precisione a cui si possa arrivare nella misura delle lunghezze, nota ad un tempo il massimo grado di approssimazione con cui si può ammettere che il più esatto campione metrico rappresenti la vera lunghezza del metro, cioè del suo modello esistente negli archivi di Parigi.

Non molto diverso è il grado di precisione relativa, con cui si può misurare l'intervallo fra due punti sul terreno, quando sian distanti soltanto di alcune centinaia o migliaia di metri. Nelle misure di grado e negli accurati lavori geografici occorre sempre di dover determinare una o più simili linee, le quali dovendo servire di fondamento a tutte le dimensioni del terreno rilevato, si chiamano *basi*. Una tal base è per esempio la linea che congiunge gli assi di due piramidi di granito esistenti nella brughiera di Gallarate l'una presso Somma, l'altra presso Nossate. Questa linea su cui si fonda il rilievo geodetico e topografico di tutto il Piemonte e di tutta la Lombardia, è stata misurata due volte dagli uffiziali del nostro istituto geografico militare Maggia e Pavesi nel 1878; sopra una lunghezza di quasi 10.000 metri la differenza fra le due misure non fu che di $0^{mm},45$, cioè meno che la *ventimilionesima* parte di tutta la lunghezza. Nel 1879 gli stessi uffiziali misurarono in Sardegna presso Ozieri un'altra simile linea della lunghezza di metri 3402: la differenza fra le due misure prese fu di $0^{mm},75$ cioè meno di un *quattromilionesimo* di tutta la di-

(1) Alcuni danno a questa quantità il nome di *micro-millimetro*; è uso designarla colla lettera μ; così $15\mu,4$ indica 15 micron e quattro decimi di micron.

stanza. Di una base di 2700 metri misurata dal generale Ibanez presso Cartagena in Ispagna nel 1880 si stima che l'errore sopra due misure non superi la *tremilionesima* parte. Lo stesso grado d'accordo, o un grado non molto minore è risultato dalla ripetizione di altre basi misurate recentemente in più luoghi di Europa e d'America. Esso però non dà la vera misura dell'errore probabile; occorre anzitutto riflettere, che queste lunghezze non si possono misurare direttamente col metro normale degli archivi parigini, ma si determinano usando di una o più aste delle quali la relazione col metro normale non si può stabilire che per via indiretta, e spesso (per cagioni che qui son costretto ad omettere) con precisione assai minore di quella che si suole ottenere coi perfetti apparati e colle elaborate disposizioni dell'ufficio internazionale di pesi e misure. La pratica dimostra che una base geodetica può considerarsi come sufficientemente precisa, quando si possa ritenere errata di meno che un *dugentomillesimo* della sua lunghezza, cioè di meno che cinque millimetri per chilometro.

Certo è questa ancora una grande precisione relativa; e se le distanze terrestri, le dimensioni e le aree delle diverse regioni si potessero dedurre intieramente da misure di questa fatta, nulla certamente resterebbe più a desiderare per la perfezione della geografia matematica. Ma i metodi perfezionati con cui si può raggiungere tale limite d'esattezza (od anche sorpassarlo), domandano tale somma di denaro, di lavoro e di tempo, che in pratica è possibile usarne soltanto sopra alcune poche linee o basi di non molta lunghezza. Per esempio tutto il rilievo della nuova carta d'Italia che si sta ora compiendo dal nostro istituto geografico militare si fonderà intieramente sopra la misura delle sole otto basi di Gallarate, di Udine, di Pisa, di Roma, di Foggia, di Castelvolturno, di Lecce, del Crati, a cui si aggiungeranno quelle di Catania e di Marsala per la Sicilia, e quella di Ozieri

per la Sardegna (1). Di queste basi solamente tre arrivano a 10-12 mila metri, le altre sono di 3 a 5 chilometri. Si comprenderà facilmente la ragione di tanta economia di misure lineari, quando si rifletta, che ognuna di tali basi richiede parecchie settimane di lavoro, e il concorso di una numerosa squadra d'uffiziali e di soldati. Ciascuna linea richiede poi preparazioni più o meno dispendiose prima di essere misurata; così lungo la base di Gallarate nel 1878 si dovettero eseguire tagli di boschi per tracciarne l'allineamento rettilineo, e si dovette spianare il terreno sull'intiero tratto di 10 chilometri, per poter collocare comodamente e sicuramente i sostegni delle aste di metallo, che servono alla misura.

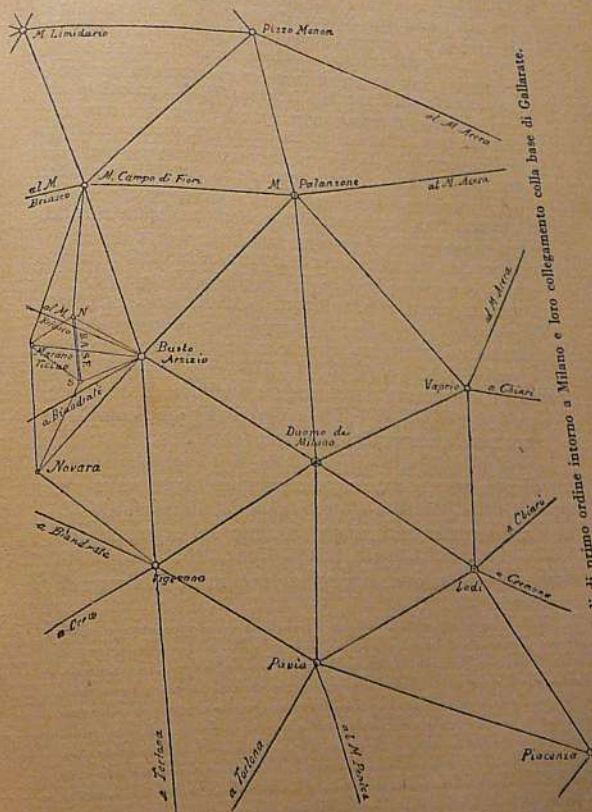
Da sì poche e brevi linee tuttavia i geodeti deducono le dimensioni e figure delle regioni circostanti per mezzo di ciò che si dice *triangolazione* o *rete trigonometrica*. Non è mio proposito di esporre qui i particolari di una tale operazione, che si trova ampiamente spiegata in tutti i trattati di Geodesia. Dirò solamente, che scelti alcuni punti più salienti e più visibili da lontano (cime di monti o sommità di torri per lo più), collocati ciascuno a distanze di 20-30-40 chilometri dai suoi vicini, s'intendono riuniti questi punti con linee visuali, le quali formano così una rete di triangoli. Tali punti principali diconsi punti trigonometrici della carta d'Italia. Abbiamo per esempio in Milano uno dei punti trigonometrici della carta d'Italia, che è la guglia del Duomo: e intorno ad esso ne sono altri in Busto Arsizio, Vigevano, Pavia, Lodi, Vaprio, e sul vertice del monte Palanzone, i quali formano intorno al Duomo sei triangoli costituenti un immenso esagono. Intorno al quale esagono, hannovi da ogni parte altri triangoli, che da un punto trigonometrico ad un altro passo passo ormai sono estesi per tutta l'Italia, connettendosi attraverso alle Alpi colle ana-

(1) Queste basi sono già tutte misurate, ad eccezione di quelle di Pisa e di Marsala.

loghe operazioni di Francia, di Svizzera e d'Austria; chè anzi i nostri geodeti per mezzo di immensi triangoli lanciati attraverso all'Adriatico e al Mediterraneo, sono riusciti recentemente a connettere il Monte Gargano colla Dalmazia, la Terra d'Otranto coll'Albania, la Sicilia coll'Africa, e la Toscana colla Corsica e colla Sardegna. Operazioni invero meravigliose e straordinarie che forse in altro articolo potranno essere descritte ai lettori della *Natura*.

In ogni punto trigonometrico poi vi è un segnale che serve a determinare con precisione le visuali ad esso condotte dai punti circostanti, ed una colonna ben salda, sulla quale si colloca il *teodolite*, o l'istrumento destinato a misurare gli angoli che ivi fanno quelle visuali fra di loro. Tali misure si fanno colla maggiore diligenza e si ripetono moltissime volte per più giorni di seguito, al fine di ottenere i valori medi più esatti che si possa. Ed in tal modo si misurano tutti gli angoli dei triangoli della rete.

Nella carta annessa è figurata la parte della nostra triangolazione che circonda Milano. Oltre ai grandi triangoli di cui sopra si è parlato, vi si trova notata con la doppia linea *NS* la base di Gallarate, la quale si vede poi connessa coi punti trigonometrici per mezzo di un sistema di triangoli ausiliari minori, segnati con linee più sottili di quelle che servono a delineare i grandi triangoli della rete. Con questo è facile comprendere, come dalla breve linea di Gallarate ($9999^m,40$) sia stato possibile dedurre tutte le altre misure. Basta per questo ricordare dagli elementi della geometria, che quando di un triangolo son misurati gli angoli e si conosce la lunghezza di uno dei lati, è possibile determinare anche le lunghezze degli altri due lati, costruendo il triangolo graficamente (in grandezza naturale od in scala secondo i casi) od anche con maggiore precisione per mezzo del calcolo aritmetico. Incominciando dunque dai triangoli che hanno la base sulla linea misurata, si deducono tutti i loro

Fig. 26. — Triangoli di primo ordine intorno a Milano e loro collegamento colla base di Gallarate.

lati; i quali alla loro volta, considerati come base di triangoli contigui, permetteranno di conoscere tutte le misure di questi; e così di triangolo in triangolo si arriva a conoscere le misure dell'intiera rete (1). Essendo così determinate le lunghezze di tutti i lati dei triangoli, ora si potrà o colla costruzione grafica, o col calcolo, dedurre le distanze fra due punti qualsivoglia della triangolazione, purchè non si dimentichi, che qui non si lavora sopra un piano, ma sopra la superfice curva della Terra. In questo modo sono stati determinati e si determinano i punti fondamentali delle grandiose carte geografiche e topografiche, che i governi han fatto eseguire per gli usi militari, e alcuni di essi anche per dare una base sicura ai catasti geometrici, ed ai progetti di lavori pubblici molto estesi, come strade, canali, bonifiche di terreni, ecc. A questi punti fondamentali o di 1° *ordine* infatti l'ingegnere topografo si appoggia, per ottenere la posizione di altri punti di minor importanza, ma più numerosi, detti punti di 2° e di 3° *ordine;* i quali alla loro volta servono a coordinare i rilievi di quei più minuti particolari, di cui la rappresentazione completa è appunto lo scopo di tali carte.

Con quale grado di precisione si possono misurare mediante questo sistema, lunghissime linee sulla superfice della Terra, e determinare le dimensioni e le aree delle sue regioni, si può vedere dal seguente notabile esempio. La più lunga linea, che in questo modo sia stata fino ad oggi determinata, è l'arco di

---

(1) Nel caso presente la linea di Gallarate, rappresentata nello annesso disegno col tratto doppio NS, serve di base a due triangoli aventi il vertice l'uno in Marano, l'altro in Busto, onde non solo possiamo calcolare i quattro lati del quadrilatero da essi formato, ma anche la diagonale compresa fra Busto e Marano. Questa diagonale alla sua volta serve di base a due altri triangoli più grandi dei primi, dei quali i vertici stanno sul Campo di Fiori ed in Novara. Dal primo triangolo dedurremo dunque il lato Busto-Campo di Fiori che è uno dei lati della gran triangolazione. Dal secondo si deduce il lato Busto-Novara, che per mezzo del triangolo Busto-Novara-Vigevano dà la lunghezza Busto-Vigevano, altro lato della gran rete, ecc. ecc.

meridiano misurato dai Russi negli anni 1816-1855 fra le bocche del Danubio e l'isola di Fuglenacs nel Mare Glaciale presso il Capo Nord, stendendo una catena di 258 triangoli dall'uno all'altro di questi due punti. Esso arco abbraccia 25°20' di latitudine, e la distanza fra i paralleli delle colonne monumentali che ne segnano le estremità è di metri 2821790, quasi 2822 chilometri. Non solo è questa l'operazione trigonometrica più estesa in lunghezza, ma è altresì di una accuratezza eccezionale. Il che si deve sopratutto al sapiente ordinamento dell'impresa, ma altresì alla prudente economia osservata in tutto il lavoro, dal quale fu escluso tutto quello che direttamente non conduceva allo scopo: economia che sembra oggi troppo dimenticata nella farraginosa congerie d'operazioni che si stanno facendo sotto il nome di Grado Europeo. Discutendo adunque tutte le parti di quella colossale operazione, e ricercando l'influsso possibile di ogni causa d'errore, W. Struve ha stimato che su tale lunghezza non si abbia da temere un errore molto più grande di 12 metri circa, il che fa meno di *un dugentomillesimo* del totale (1). Quand'anche vogliamo ammettere che l'errore vero possa salire al doppio di tale stima, avremo sempre un centomillesimo, cioè un centimetro per ogni chilometro. Tale adunque, e forse oggi anche un poco maggiore, è il grado di esattezza, che si può sperare di raggiungere nelle vaste misure geografiche, quando si operi colla maggior diligenza possibile, impiegando il tempo necessario e gli strumenti e gli apparati più perfetti. In realtà non è sempre stato ottenuto, causa le gravi difficoltà di evitar errori in imprese a cui devono collaborare tanti uomini per tanti anni. Ed infatti confrontando fra loro i valori di una medesima distanza ottenuta, partendo da basi diverse e per mezzo di operazioni di-

(1) *Arc du méridien entre le Danube et la Mer Glaciale*, tome II, pag. 210.

verse, si sono trovate spesso differenze relativamente assai maggiori. Pertanto l'Associazione geodetica internazionale, nello stabilire il tipo d'esattezza richiesto nei suoi lavori, ha dovuto attenersi ad un limite assai più largo di tolleranza; ed ha posto come canone invariabile, che si debba considerare come sufficiente ogni operazione trigonometrica, nella quale non si abbia da temere sulle lunghezze un errore più grande di un *venticinquemillesimo*, che è quanto dire di 4 centimetri per chilometro.

Ad operazioni del medesimo genere sono appoggiate le così dette *misure di grado*, dalle quali gli astronomi hanno cercato di dedurre la figura e le dimensioni dello sferoide terrestre. Il tipo più perfetto e più grandioso di un tale lavoro si trova nella già citata misura dell'arco meridiano di Russia. Si determina, per mezzo di una lunga catena di triangoli estesi nella direzione nord-sud la distanza fra due punti collocati lungo uno stesso meridiano. Con osservazioni astronomiche si misura inoltre l'angolo compreso fra le verticali dei due punti estremi, ed anche di alcuni punti intermedi. La comparazione di questi elementi astronomici e geodetici permette di calcolare quale è il raggio dell'arco di circolo a cui si adatta meglio la curvatura del meridiano considerato nel suo totale, od in ciascuna delle sue parti. Eseguendo di tali operazioni in diversi luoghi della Terra, si è trovato che la curvatura dei meridiani non è uguale in tutte le latitudini, che i meridiani non sono circoli, che la Terra non è una sfera come per tanto tempo si era creduto. Da circa un secolo e mezzo è dimostrato, che la Terra imita con qualche approssimazione la forma di un ellissoide, schiacciato nella direzione dei poli; e combinando insieme le diverse misure, si giunse ad ottenere le dimensioni di questo ellissoide e la quantità del suo schiacciamento. Esamineremo nel prossimo numero quale è il grado d'approssimazione a cui oggi siamo pervenuti in questa importante ricerca.

II.

Al principio di questo secolo la commissione francese incaricata di stabilire le basi del sistema metrico decimale decise di prendere come unità delle misure lineari la diecimilionesima parte della distanza dal polo all'equatore, ed incaricò quindi gli astronomi Méchain e Delambre di eseguire una nuova misura della Terra, usando dei sussidi più perfetti che la scienza poteva offrire in quel tempo. Da quelle lunghe e laboriose operazioni risultò la distanza dal polo all'equatore di tese antiche parigine (misurate col campione detto *tesa del Perù* a + 13° Réaumur) 5.130.740: e la diecimilionesima parte di questa lunghezza (cioè tese 0,513074) fu assunta come rappresentante la lunghezza del *metro*. È questo il *metro legale*, che d'allora in poi fu adottato tanto per gli usi scientifici quanto per quelli della pratica quotidiana: esso è rappresentato dalla lunghezza del prototipo fondamentale di platino conservato negli archivi di Parigi, considerata questa lunghezza a zero gradi di temperatura. Espresse in questa nuova unità, le dimensioni del globo terrestre adottate dalla commissione metrica si trovano indicate nella tavola qui sotto al n. 1 (1).

Già però lo stesso Delambre aveva concepito qualche sospetto nell'esattezza di questi dati, e specialmente sulla quantità dello schiacciamento adottato dalla commissione. Tali sospetti furono accresciuti nel 1816, quando Puissant riconobbe, essere incorsi notabili errori in una parte della gran meridiana di

(1) *Base du système métrique*, vol. III, pag. 196.

Francia; in conseguenza dei quali si dovettero ripetere e correggere le misure dei triangoli compresi fra Bourges e Fontainebleau (1). Non molto tempo dopo lo stesso Puissant trovò un grave errore nel calcolo della parte australe della stessa meridiana fra Barcellona e l'isola di Formentera (2). Fatte le necessarie emendazioni, Puissant trovò per la Terra, le misure indicate qui sotto nella tavola sotto il n. 2 (3).

Frattanto erano state eseguite in varie parti dell'Europa e dell'India nuove e più esatte misure di grado. Nel 1841 Bessel, combinando insieme con un nuovo e più perfetto metodo di calcolo tutto il miglior materiale disponibile, giunse ai risultati qui sotto indicati sotto il n. 3, che sono anche oggi i più usati, benchè non possano dirsi i più esatti. Bessel stima a un mezzo chilometro l'incertezza probabile sulla lunghezza del quarto del meridiano da lui assegnata (4).

Recentemente l'inglese Clarke, profittando dei grandi archi di Russia e dell'India (dei quali Bessel aveva potuto impiegare soltanto una parte) e di un nuovo grado misurato da Maclear al Capo di Buona Speranza, ottenne i risultati che in questo momento dobbiamo considerare come i migliori che si possono ottenere, partendo dall'ipotesi che la Terra abbia la forma di un ellissoide simmetrico intorno al suo asse di rotazione. Clarke è ritornato su questo calcolo parecchie volte, aggiungendo sempre qualche perfezionamento e qualche emendamento: diamo qui, sotto i numeri 4 e 5, i suoi risultati del 1866 e del 1878 (5), i quali non differiscono fra loro che di quantità relativamente trascurabili.

---

(1) Puissant, *Description géométrique de la France*, vol. I, pag. 242.
(2) *Ibid.*, II, 35.
(3) *Ibid.*, II, 609.
(4) *Astronomische Nachrichten*, N. 438.
(5) Clarke, *Account of the Comparisons of Standards of Lenght made at the Ordnance Survey Office*, London, 1866, pag. 287. Lo stesso, *Philosophical Magazine*, 1878, pag. 86.

DIMENSIONI DELLA TERRA DATE DA ALCUNI PRINCIPALI AUTORI ESPRESSE SECONDO IL METRO LEGALE

Numero	AUTORE	Semidiametro equatoriale	Semidiametro polare	Quadrante del meridiano	Schiacciamento in frazione del semidiametro equatoriale
1	Commissione metrica..	m 6 375 397	m 6 356 650	m 10 000 000	1 : 334
2	Puissant . . .	6 377 859	6 356 809	10 001 789	1 : 303
3	Bessel	6 377 397	6 356 079	10 000 856	1 : 299,15
4	Clarke I . . .	6 378 206	6 356 584	10 001 879	1 : 294,98
5	Clarke II . .	6 378 249	6 356 515	10 001 838	1 : 293,46

Le differenze fra questi numeri si devono attribuire non tanto ad errori nelle osservazioni quanto alla diversa estensione e al diverso numero di archi di meridiano posti per base del calcolo. Di gran lunga i più importanti fra questi archi sono quello dell'India, quello di Russia, e l'arco ispano-francese-inglese che si stende dalle Baleari alle isole Shetland sopra la Scozia. Non vi ha alcun dubbio, che l'addizione di altri archi misurati in parti del globo finora non praticate dai geodeti produrrebbe nuovi risultati ancor diversi dai precedenti, con discordanze del medesimo ordine di grandezza di quelle che si notano colla precedente tavola. L'incertezza è dunque anche oggi da stimarsi ad intieri chilometri, tanto nei due semiassi quanto nel quadrante del meridiano. L'accordo che si nota fra i due calcoli di Clarke dipende da ciò, che ambedue sono fondati sopra misure quasi completamente identiche.

L'impossibilità di adattare tutte le misure di grado ad un solo ellissoide simmetrico intorno all'asse di

rotazione è stata riconosciuta da molto tempo; se ne trasse la conseguenza, che la Terra imita la forma di un tale ellissoide molto imperfettamente. Il generale Schubert è stato il primo a far notare (1860) che le misure di grado più esatte si accordano fra loro alquanto meglio, adottando la supposizione che l'equatore non sia di forma rigorosamente circolare, ma leggermente ovale. Il calcolo in questa ipotesi fu eseguito ultimamente con ogni cura dal sopra nominato Clarke. Secondo lui, la forma dell'equatore che meglio si adatta ai fatti osservati è quella di una ellisse avente il massimo diametro nelle longitudini 15°34' e 195°34' a levante di Greenwich, e il minimo diametro nelle longitudini 105°34' e 285°34'. Nella prima direzione il meridiano terrestre avrebbe il massimo schiacciamento e la massima lunghezza; il primo di queste quantità sarebbe nell'altra direzione. Ecco le misure trovate da Clarke (1):

Semidiametro equatoriale ..	massimo	6 378 294m
	minimo	6 376 350m
Semidiametro polare		6 356 068m
Schiacciamento del meridiano	massimo	1 : 295,97
	minimo	1 : 313,38
Schiacciamento dell'equatore	....	1 : 3269,5
Quadrante del meridiano ..	massimo	10 001 527m
	minimo	10 000 024m

Queste dimensioni e quelle riferite nella tabella qui sopra sotto il n. 4 sono state calcolate partendo assolutamente *dai medesimi dati di osservazione:* e le differenze loro non si possono attribuire che alle ipotesi diverse adoperate come fondamento. Secondo che si adottá l'ipotesi dell'equatore circolare o dell'equatore ellittico, il semiasse polare risulta di 6 356 584m o di 6 356 068m: differenza 518m. Il raggio dell'equatore

(1) CLARKE, *Account of the Comparisons*, etc., pag. 285.

corrispondente alla longitudine 105°34' Est da Greenwich può essere 6 378 206^{m} oppure 6 376 350^{m}: differenza 1856^{m}, cioè quasi $^{1}/_{3400}$ del raggio stesso. E finalmente il quadrante del meridiano nella stessa longitudine può essere 10 001 879 o 10 000 024 : differenza 1855^{m}, cioè $^{1}/_{5400}$ del quadrante stesso. Quando dunque recentemente il prof. Newcomb di Washington dichiarava di non considerare come sicura nessuna dimensione della Terra entro un *diecimillesimo*, non solo si esprimeva senza esagerazione, ma non diceva neppure tutta la verità (1).

Ed infatti non solo noi ignoriamo fino a qual punto si possa adattare alla Terra la supposizione ch'essa sia un ellissoide simmetrico coll'equatore circolare, od un ellissoide con un equatore ellittico; ma non sappiamo neppure quale altra supposizione di forma geometrica potrebbe meglio delle precedenti rappresentare la figura del nostro pianeta. Che questa figura debba presentare molte irregolarità, lo si sapeva anche prima: ma sulla distribuzione e sull'entità di queste non si avevano che idee molto vaghe ed insufficienti. L'opinione più comune tuttavia era che tali irregolarità dipendessero specialmente dall'attrazione delle montagne, e che fossero di poco momento e di natura piuttosto ristretta o locale, in ogni caso non capaci di turbare in modo apprezzabile la curvatura generale, che si supponeva avvicinarsi molto a quella di un ellissoide simmetrico. Negli ultimi tempi però le investigazioni dei geologi e sopratutto la miglior cognizione acqui-

(1) Vedi il discorso del professor Young intitolato *Pending Problems of Astronomy*, letto all'Associazione Americana delle scienze di Filadelfia il 5 settembre 1884. — Invece di supporre l'equatore ellittico, si può anche fare l'ipotesi che l'ellissoide sia simmetrico, ma che il suo asse di simmetria devii dalla direzione dell'asse di rotazione. In questa ipotesi il problema è stato trattato dal professor Fergola, il quale trovò che la deviazione, o l'angolo fra l'asse di simmetria e quello di rotazione non può essere che piccolissimo. Le misure da lui calcolate differiscono quindi poco da quelle di Clarke, come era da aspettarsi.

stata delle profondità oceaniche, hanno contribuito a mutare le idee su questo argomento.

La figura matematica o geodetica della Terra si definisce oggi esser quella che assumerebbe la superfice del mare (idealmente prolungata per mezzo di canali attraverso ai continenti), quando potesse costituirsi un equilibrio definitivo sotto l'influsso delle reciproche attrazioni di tutte le parti materiali solide, liquide, ed aeriformi, di cui la Terra stessa è composta. Livellando una tale superfice con una livelletta da ingegnere, i suoi punti dovrebbero risultare tutti di livello fra di loro. Per questo motivo tale forma d'equilibrio dicesi pure *superfice di livello;* ora dietro l'esempio di Listing, si dice che è un *Geoide*. Per molto tempo si è ammesso tacitamente che la superfice del mare fosse una superfice di livello; ma livellazioni esattissime hanno negli ultimi anni messo fuori di dubbio, che non in tutti i luoghi il mare ha la medesima altitudine o il medesimo livello (1). Le differenze tuttavia non sorpassano mai (per quanto è noto finora) una frazione di metro, e si può lasciarle da parte nella presente questione. Si ammette dunque che la figura effettiva della Terra sia data, per le aree occupate dall'oceano, dalla superfice media di questo, escluse le variazioni del flusso e del riflusso e quelle dipendenti dalla variabile pressione del barometro. Per le aree continentali è quella che sarebbe definita da una fitta rete di canali che facessero comunicare a traverso dei continenti tutti i mari fra di loro. E tale è pure la superfice dalla quale si parte per definire le altitudini dei punti terrestri, specialmente delle vette dei monti.

Ora è manifesto, che se la parte solida della Terra fosse per figura e densità geometricamente regolare, il geoide e la superfice d'equilibrio del mare determinata dalle attrazioni di tutta la mole terrestre sarebbe pure

(1) Vedi su questo fatto e sulle sue cause l'articolo del professor Celoria: *Differenza di livello fra gli Oceani* (*La Natura*, n. 9).

geometricamente regolare. Ed è pure evidente il contrario; che cioè ogni irregolarità nella forma e nella densità del globo terrestre deve avere per effetto (salvo casi eccezionali ed improbabilissimi) una irregolarità nella forma del geoide. Potrebbe avvenire il primo caso, quando non esistessero le protuberanze continentali, e quando l'oceano avesse dappertutto la medesima profondità: oppure quando i continenti fossero di materia non più densa dell'acqua e non si sollevassero gran cosa sopra il livello di questa. Ma le esplorazioni geologiche c'insegnano che la materia dei continenti deve stimarsi circa tre volte più densa dell'acqua: i geografi dal canto loro calcolano che i continenti si sollevino sopra l'oceano in media di 400-500 metri. E da ultimo gli scandagli del *Tuscarora*, del *Challenger*, dell'*Alert*, ecc., ci hanno appreso che le profondità degli oceani sono molto più uniformi di quello che si supponeva, e che ammettendo in essi una profondità generale media di 3500 metri a un dipresso, si può rappresentare le grandi isole continentali in forma di altipiani, che si elevino da questo fondo alla media altezza di 4000 metri (1). Nasce dunque il problema di ricercare quale influsso l'attrazione di queste masse addizionali dei continenti, irregolarmente ripartite sopra un quarto circa dell'area di tutto il globo, possa esercitare sulla figura d'equilibrio dell'oceano; e di studiare la legge delle irregolarità in questo modo prodotte nella figura della Terra.

Già nel 1877 il prof. Bruns, attualmente Direttore dell'Osservatorio di Lipsia, trattò le prime linee di questo argomento. In una memoria diventata celebre (2)

---

(1) Trattandosi di problemi nuovi, è permesso prendere le cose da principio con generale approssimazione, negligendo le eccezioni. Perciò non si tiene conto delle irregolarità anche grandi, quali sono per esempio il *dosso del Challenger* lungo l'asse dell'Atlantico meridionale e la celebre *fossa del Tuscarora* nel Pacifico boreale, che offre profondità superiori a 6000 metri, ed in qualche punto anche ad 8000 metri.

(2) Bruns (Heinrich), *Die Figur der Erde*, Berlin, 1877.

egli trovò, partendo da supposizioni alquanto rozze circa la distribuzione delle masse continentali, che l'effetto della loro attrazione può facilmente gonfiare il livello del mare di mezzo chilometro in certe parti, ed abbassarlo di altrettanto in altre parti, l'importo totale della somma delle massime deformazioni nei due sensi arrivando così ad un intiero chilometro. Il Bruns si limitò a dimostrare che le deformazioni potevano arrivare sino a questo limite, ma non estese la sua indagine a ricercare quale sia la legge geografica di tali deformazioni. La prima ricerca di questa legge è stata recentissimamente pubblicata dal prof. Helmert del Politecnico di Acquisgrana (1), e non credo inopportuno di darne qui una breve idea.

Egli incomincia dal calcolare l'effetto prodotto sul mare dall'attrazione di un'isola rotonda di area non superiore a quella dell'Asia e dell'America: effetto che si può descrivere come segue. La presenza dell'isola produce nella superfice di livello una protuberanza circolare alquanto più estesa dell'isola medesima, e di cui la massima sporgenza sta nel centro di essa. Agli antipodi dell'isola si forma una seconda protuberanza circolare meno prominente della prima, ma più estesa; il suo diametro non è meno di circa 130° di circolo massimo, qualunque sia la grandezza dell'isola, purchè non maggiore del limite accennato. L'area che rimane fra queste due opposte prominenze forma un'ampia zona, intieramente occupata da una depressione del livello marino: e la massima profondità di questa depressione si trova lungo un circolo minore i cui punti distano dal centro dell'isola 60° di circolo massimo o non molto più.

Helmert ora decompone le forme irregolari dei continenti in una serie di isole circolari simili alla prece-

(1) Helmert (F. R.), *Die Mathematischen und Physikalischen Theorieen der hoheren Geodäsie, mit Untersuchungen ueber die mathematische Erdgestalt auf Grund der Beobachtungen*, vol. II, pag. 266-382, Leipzig, 1884.

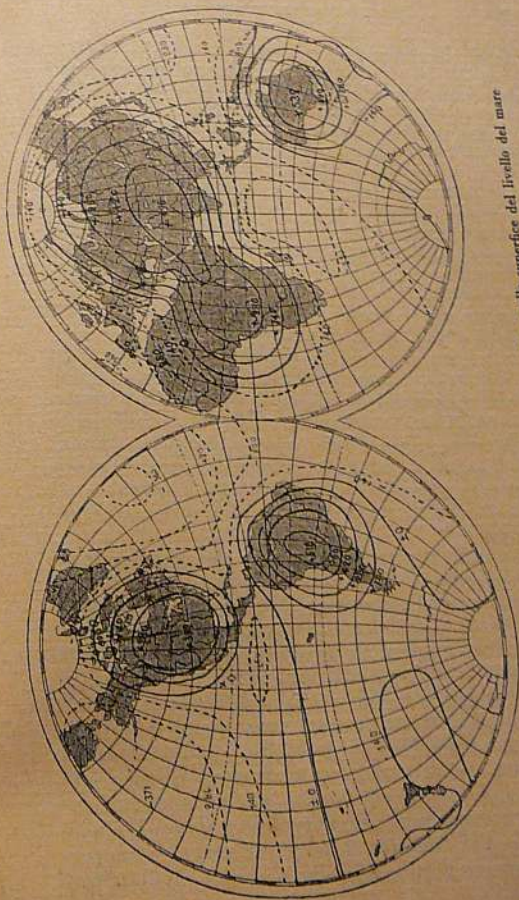



Fig. 27. — Carta delle protuberanze e delle depressioni prodotte nella superfice del livello del mare dall'attrazione delle masse continentali, del professor Helmert.

——— Depressioni in metri.

——— Protuberanze in metri.

dente, e calcolando separatamente gli effetti di ciascuna di esse sul livello del mare per ciascun punto della superfice del globo, trova l'effetto totale dell'attrazione dei continenti sommando gli effetti parziali di tutte quelle isole. Con tale procedimento, adottando per le elevazioni medie dei continenti sul mare 440^m e per la profondità media dell'oceano 3438^m, ammettendo inoltre che la densità dei continenti sia uniforme e 2,8 volte maggiore che quella dell'acqua, arriva a calcolare per qualsiasi luogo della superfice terrestre la quantità, di cui ivi il livello del geoide e dell'oceano è elevato o depresso in conseguenza dell'attrazione delle masse continentali. Egli ha rappresentato i risultati dei suoi calcoli per mezzo di una carta, di cui la figura a pag. 315 è una copia.

In questa carta, oltre ai contorni principali dei continenti si trovano delineate delle curve, le quali indicano coi numeri di cui sono provvedute, le quantità di cui il livello del mare è sollevato o abbassato lungo i punti precorsi dalle curve stesse. Quei numeri hanno il segno + ed indicano metri di protuberanza per le curve a tratto continuo: hanno il segno — ed indicano metri di depressione per le curve a tratto interrotto.

L'esame di questa carta mostra che in generale ai centri dei grandi continenti corrispondono innalzamenti massimi della superfice di livello: il più pronunziato di tutti, di 616 metri, essendo nell'America meridionale. Nei mari si hanno quasi da per tutto delle depressioni, la più profonda nel centro dell'Atlantico boreale, che arriva a 560 metri: in generale però negli altri oceani queste depressioni sono molto minori ed anzi in tutto il Pacifico australe, fra la nuova Zelanda e l'America, si ha una lieve elevazione dovuta alla gran massa del continente antico, che si trova agli antipodi di questa regione. Il dislivello totale fra il punto di maggior protuberanza e quello di maggior depressione è di quasi 1200 metri. Tutti questi risultati nu-

merici non sono da considerarsi che come prime approssimazioni: sulla forma generale del fenomeno, tuttavia non vi può esser più alcun dubbio. I particolari potranno essere emendati da ricerche più minute e fondate sopra elementi più abbondanti e più sicuri; ma cambiamenti essenziali nell'aspetto di questa carta non devono più aspettarsi.

Andrebbe tuttavia errato chi volesse già ora affermare, che essa rappresenti la vera figura del globo, cioè le vere sue deviazioni dalla forma di un ellissoide regolare e simmetrico intorno al suo asse. Ciò potrebbe essere quando detratti col pensiero i continenti ed esteso l'oceano con profondità uniforme sulle aree loro, il fondo di esso costituisse una superfice ellissoidale regolare, e quando la densità della materia al disotto di questa superfice fosse uniforme od almeno distribuita per strati regolari, uniformi, intorno al centro della Terra. Per quanto concerne la forma regolare della superfice del fondo, si potrebbe ammetterla in via di approssimazione; ma circa la legge della densità interna, noi non sappiamo nulla, e non è cosa da definire con teorie. Solo le osservazioni qui possono decidere, e vi sono due modi per giungere all'intento.

Il primo sarebbe di esplorare con vaste operazioni geodetico-astronomiche la curvatura della superfice terrestre in molti luoghi fra loro distanti, e di verificare se questa curvatura può farsi coincidere con quella che sarebbe richiesta dalle protuberanze e dalle depressioni della nostra carta, applicate ad un ellissoide regolare e simmetrico rispetto all'asse di rotazione. Noi siamo però oggi molto lontani dal poter ricorrere a questo metodo di verificazione. Malgrado le somme immense che si sono profuse e tuttora si profondono in operazioni geodetiche, non vi sono realmente che due regioni della Terra, sulla cui curvatura si sappia qualche cosa di esatto: cioè l'Europa e l'Indostan. Gli Americani del Nord, contro il loro uso, sono rimasti indietro in questa parte. Sebbene anch'essi non man-

chino di vaste triangolazioni corredate di operazioni astronomiche, si deve confessare che finora da tali lavori non si è potuto cavar molto aiuto per la cognizione della grandezza e della figura della Terra. Nè grande soccorso si ricava dalle meridiane del Perù e del Capo di Buona Speranza, che sono troppo brevi. Tutto il resto è *terra incognita*, e l'onore di esplorarla è forse riservato ad una tarda posterità. Eppure la misura di un arco di meridiano (od anche di parallelo) nel Brasile, nell'Argentina, nell'Egitto, nell'Australia, nella Siberia e nella China non offrirebbe difficoltà insormontabili, quando i geodeti europei volessero persuadersi dell'utilità di applicare in quelle regioni un poco almeno della esuberante attività che spiegano nella nostra parte del mondo.

L'altro mezzo è dato dalle osservazioni dell'intensità della gravità, che, com'è noto, si fanno coll'aiuto del pendolo. Tale intensità è modificata pur essa dall'attrazione dei continenti; e le anomalie che ne derivano hanno una stretta relazione con quelle, che sopra abbiamo descritto, del livello del mare. In generale si trova che alle protuberanze di questo livello corrisponde un aumento della gravità, e una diminuzione alle depressioni (dico *in generale*, perchè i due fenomeni non si possono considerare come esattamente paralleli). Or siccome nella figura a pag. 315 ai continenti corrispondono per lo più elevazioni del livello, e ai mari per lo più depressioni: dovrebbe, quando le irregolarità del geoide terrestre fossero veramente quali le indica quella figura, la gravità mostrare anomalie in eccesso nei paesi continentali, e anomalie in difetto nelle stazioni perdute in mezzo all'oceano. Ma l'esperienza ha sembrato finora dimostrare appunto l'opposto; l'intensità della gravità nelle stazioni oceaniche si è trovata deviare ordinariamente in *più* e non in *meno* dal valore normale (1).

---

(1) Vedi su questo punto l'accurata discussione di Helmert nel volume citato, pag. 191-227.

Questo eccesso della gravità nelle piccole isole dell'oceano è in parte tuttavia soltanto apparente. Faye ed Helmert (1) hanno dimostrato che esso è principalmente effetto dell'attrazione dei coni solidi, il cui vertice emergendo fuori delle acque forma le isole in questione. Tenendo conto di questa circostanza, l'eccesso viene notabilmente a scemare, ma non scompare intieramente: onde, malgrado che il calcolo dell'attrazione dei coni insulari presenti qualche incertezza, non si può dire che la contraddizione or ora notata non conservi molta parte della sua forza. Noi siamo dunque costretti ad ammettere che la figura a pag. 315 non rappresenta le vere irregolarità del geoide: doversi quindi abbandonare l'ipotesi, che il nucleo terrestre, spogliato dei continenti e ridotto al fondo uniforme dell'oceano, sia un solido di forma e di densità regolare. Nella contraddizione suddetta gli autori citati trovano invece una conferma dell'ipotesi già sostenuta nel 1864 da Pratt (2), che la crosta terrestre sotto gli oceani sia di maggior densità che sotto ai continenti, in guisa che la maggior sporgenza e densità di questi in confronto delle acque sia più o meno esattamente compensata dalla minor densità dei loro strati. Quanto più completa si suppone tale compensazione, tanto minori si dovranno supporre le irregolarità del geoide e la sua deviazione dalla figura di un ellissoide simmetrico. Faye rende conto di questa maggior densità degli strati submarini, notando che il calore di questi strati viene assorbito immediatamente con molta prontezza e disperso negli spazi celesti dal continuo equilibrarsi dell'acqua calda colla fredda nelle profondità oceaniche: mentre alla stessa profondità sotto i continenti il calore terrestre ha ancora da traversare per lenta propagazione mole-

---

(1) FAYE, *Comptes Rendus*, 1880, pag. 1185, 1444. HELMERT, *op. cit.*, II, pag. 226-227.

(2) *Philos. Transactions*, 1871, pag. 335-336.

colare 4000m e più di rocce poco conduttrici. Ne conclude, che da tempo immemorabile gli strati submarini hanno dovuto precedere nel raffreddamento gli strati continentali e trovansi quindi in stato di maggior densità non solo presso la superfice ma anche a considerabili profondità (1).

Una completa luce su questi difficili ed importanti problemi si potrà ottenere soltanto quando si trovi il mezzo di determinare l'intensità della gravità sul mare con qualche apparato che non richieda, come il pendolo, stazione fissa; ma che si possa adoperare anche a bordo di una nave. Tale sarebbe il *batometro* di Siemens, sul quale si erano fondate grandi speranze, che poi l'esperienza non ha giustificato (2).

Ma abbastanza si è detto delle gravissime difficoltà che assediano il problema della figura e delle misure della Terra, e dello stato presente di questo problema. Prima di salire agli spazi celesti voglio rispondere ad una interrogazione che si sarà presentata a chi ha veduto scritto nei libri, che il metro è la diecimilionesima parte della distanza dal polo all'equatore. Essendo questa distanza diversa secondo i calcoli dei vari autori, anzi diversa da un meridiano all'altro, sarà pure diversa la lunghezza del metro che ne deriva. Qual'è dunque il vero metro, il metro ufficiale?

Ecco qui. La definizione del metro come diecimilionesima parte del quarto del meridiano, stabilita originariamente dai commissari che ordinarono il sistema metrico decimale, apparve ben presto illusoria, quando si riconobbe esser sensibilmente errate le dimensioni terrestri da loro adottate per stabilire la lunghezza del campione normale degli archivi parigini. Come risulta dai numeri riferiti più sopra, tutte le ricerche posteriori si accordano ad attestare che il metro degli archivi entra nel quarto del meridiano

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1881, pag. 697-703.
(2) Siemens, *Philos. Trans.*, 1876; Helmert, *op. cit.*, II, pag. 366.

più che dieci milioni di volte; e che quindi per corrispondere a quella definizione dovrebbe esser allungato di una piccola quantità. Ma sull'importo di questa quantità i calcoli non s'accordano. Secondo Puissant, sarebbero 179 *micron*: secondo Bessel, 86: secondo Clarke 188 o 184. Se poi si adotta l'ipotesi dell'ellissoide non simmetrico intorno all'asse di rotazione, i meridiani essendo disuguali, la definizione diventa insufficiente. Il più lungo meridiano calcolato da Clarke in questa ipotesi darebbe l'allungamento di 153 *micron*, il più breve di soli 3 *micron*. Tutte queste quantità (ad eccezione dell'ultima) non sono già minuzie trascurabili, ma sono lunghezze sensibili all'occhio nudo senza aiuto di microscopi.

In tale incertezza il partito migliore è stato adottato. Si rinunziò a considerare il metro come misura ricavata dalle dimensioni della Terra; il metro oggi da tutti usato non è altro che la lunghezza del campione di platino degli archivi parigini considerata alla temperatura di zero gradi. Così definito, il metro è una misura convenzionale ed arbitraria nè più nè meno che il piede dei Romani od il cubito dei Babilonesi. Il sistema metrico ha perduto il prestigio ideale di essere somministrato dalla natura medesima; gli rimangono però altri vantaggi più reali, che lo rendono e lo renderanno sempre in pratica superiore a qualunque altro.

III.

Come di tutti i corpi celesti la Luna è a noi di gran lunga il più vicino, così è anche quello, di cui la distanza e la grandezza sono i meno difficili a definire; tanto è vero, che gli antichi, i quali sulle dimensioni celesti non avevano che idee assai vaghe ed imperfette, rispetto alla Luna, erano giunti ad una tollerabile approssimazione. Ipparco, Posidonio e Tolomeo sapevano benissimo, che dalla Terra alla Luna non occorre viaggiar molto più o molto meno, che per far dieci volte il giro del nostro globo. Esatte misure della distanza lunare non datan tuttavia che dalla metà del secolo XVIII. Nel 1751, due astronomi francesi, Lacaille e Lalande, ebbero dall'Accademia delle Scienze di Parigi l'incarico di far questa determinazione. Lacaille si fissò al Capo di Buona Speranza, e Lalande a Berlino, città che si trova col Capo quasi sotto il medesimo meridiano. La linea retta, che univa le loro stazioni attraverso della mole terrestre, fu presa come base di un immenso triangolo avente il vertice nel centro della Luna. Misurati i due angoli a Berlino ed al Capo, e conoscendo dalle dimensioni della Terra la lunghezza della base si potè, calcolando l'intero triangolo, dedurre la distanza della Luna nel momento dell'osservazione, e quindi definire la sua distanza media (1), col mezzo di una operazione affatto simile, come si vede, a quella che si usa per definire la posizione dei punti trigonometrici rispetto ad una linea data sul terreno.

---

(1) Dico la distanza media, perchè è noto, che l'intervallo dei due astri varia ad ogni momento in conseguenza della forma non circolare dell'orbita della Luna.

Tale è ancora oggi il principale e il più esatto dei metodi usati per conoscere la distanza della Luna; soltanto in luogo di due viaggiatori muniti di strumenti trasportabili in stazioni provvisorie, oggi attendono a questa bisogna due osservatori di primo ordine dotati di due grandi istrumenti meridiani fissi, affatto uguali e capaci della massima precisione. Invece di poche settimane, si sono impiegate e s'impiegano tuttavia a tale intento grandi serie di osservazioni lunari estese per molti anni. Questi sono l'osservatorio di Greenwich e quello del Capo di Buona Speranza: il primo ben conosciuto come uno dei più antichi e dei più celebri, l'altro fondato nel 1820, coll'espresso scopo di coadiuvare e completare l'osservatorio di Greenwich per quelle osservazioni che richiedono una posizione più vicina al polo antartico della Terra. Dai loro lavori combinati Stone ha dedotto, che la distanza media fra i centri della Terra e della Luna è di 60,2674 raggi equatoriali del globo terrestre, il che dà chilometri 384400 adottando per il raggio equatoriale della Terra l'ultimo valore di Clarke (1). Questo valore si accorda egregiamente con quello ottenuto nel 1880, dal signor Küstner calcolando nove occultazioni delle Pleiadi, e difficilmente potrà riguardarsi come errato di più che un duemilionesimo, ciò che importerebbe meno di 200 chilometri sopra tutta la distanza.

Minore è la precisione con cui si può determinare il diametro della Luna, a cagione delle grandi e frequenti ineguaglianze della sua superfice. Dove infatti l'orlo della Luna è occupato dai soliti anfiteatri o crateri, esso è molto disuguale ed irregolare; nè si ha modo di tener conto esatto di tale irregolarità, e di ridurre tutto ad un livello costante, come si può fare per la Terra. Inoltre la Luna è per lo più deficiente,

(1) Vedi l'articolo precedente, pag. 309.

perchè anche nel plenilunio essa sta ordinariamente fuori dell'eclittica, e si trova in esatta opposizione al Sole soltanto quando è eclissata dalla Terra, il che crea nuove difficoltà. I suoi diametri determinati direttamente cogli strumenti angolari o colle fotografie, sono per questo capo soggetti a qualche incertezza, e son generalmente maggiori che i diametri calcolati indirettamente dalle occultazioni delle stelle. Ma anche per quest'ultimo metodo l'osservazione degli appulsi stellari al lembo illuminato costituiva una seria difficoltà. La quale ora si spera di vincere usando il metodo proposto dal professor Döllen, notando le occultazioni delle piccole stelle che circondano la Luna mentre essa è totalmente eclissata (1). Per ora il valore più plausibile del diametro della Luna, espresso in misura angolare, sembra essere 15'32'',85, ottenuto dal predetto signor Küstner per mezzo di nove occultazioni delle Pleiadi (2). Adottando per la distanza media della Luna dalla Terra il numero sopra riferito, risulterebbe in misura lineare il diametro della Luna 0,27256 raggi dell'equatore terrestre o chilometri 3477. Non si esagera l'incertezza di questo numero stimandola ad un millesimo di tutto il diametro, che son 3 a 4 chilometri.

Passando alle distanze e dimensioni nel sistema planetario, noteremo subito che le proporzioni delle distanze dei pianeti dal Sole si possono con un semplice calcolo aritmetico dedurre dai tempi delle loro rivoluzioni periodiche. Infatti secondo la terza legge di Keplero il quadrato del rapporto dei tempi rivolutivi di due pianeti qualsiasi è uguale al cubo del rapporto delle loro distanze medie dal Sole: onde, dato il primo rapporto, è immediatamente conosciuto il secondo. In tal modo già Keplero più di due secoli e mezzo fa

(1) Veggasi l'articolo del Dott. Porro nel n. 41 di *La Natura*.

(2) Küstner, *Bestimmung des Monddurchmessers aus neun Plejaden-Bedeckungen.* Halle, 1880

era riuscito a fissare tutte le *proporzioni* delle distanze planetarie con molta esattezza, sebbene andasse grandemente errato nello stimare i *valori assoluti* di queste distanze; in altri termini, egli si era formata una carta esatta del sistema solare, ma gli mancava la vera *scala* delle misure di tale carta. Una sola di quelle misure, ch'egli avesse potuto ottenere con precisione, gli sarebbe bastata per conoscere tutte le altre: ma quest'una egli non la possedeva.

Questa distanza fondamentale, questo modulo di tutte le misure delle orbite planetarie, noi ora l'abbiamo nella distanza media della Terra dal Sole, detta altrimenti il semigrandasse dell'orbita ellittica descritta annualmente dalla Terra. Determinare la proporzione di questa unità delle lunghezze celesti colle nostre lunghezze terrestri è un grande e difficile problema, che occupò molto gli astronomi in ogni tempo, ma specialmente da alcuni anni in qua, e sopra il quale ultimamente si è pubblicata un'infinità di scritture. Io credo dunque di potermi dispensare dal descrivere i molti ed ingegnosi metodi, con cui si è cercato di raggiungere l'intento; e tanto più, che il lettore potrà trovare in due libri recenti, pubblicati qui a Milano (1), quanto gli può occorrere per farsi un'idea abbastanza esatta di tutta questa materia.

Fra questi metodi, i più celebri senza paragone sono quelli che si fondano nelle osservazioni dei passaggi di Venere sul disco solare: dei quali passaggi, due essendo occorsi recentemente negli anni 1874 e 1882, si credette da molti, che il tempo di arrivare alla definitiva determinazione della distanza del Sole da noi fosse giunto. L'esito pur troppo non corrispose alle speranze; le molte e costose spedizioni fatte per osservare il fenomeno in quelle parti del globo, che a

(1) Vedi l'opera del professor YOUNG, intitolata *Il Sole*, e l'altra del Padre SECCHI, intitolata *Le Stelle*, l'una e l'altra pubblicate dal Dumolard nella sua *Biblioteca Internazionale*.

ciò sembravano più opportune, hanno condotto solamente a concludere, che la fiducia prima riposta in questo metodo era eccessiva: che le osservazioni dei passaggi di Venere, a cagione di certi fenomeni ottici non bene prima studiati, sono lontane dal raggiungere quel grado di sicurezza, che prima si credeva: che questo metodo è uno di quelli che possono condurre con mediocre precisione all'intento, ma che da altri metodi più facili, meno dispendiosi, e sopratutto non legati (come i passaggi di Venere) a rarissime epoche, si può ottenere altrettanto e si può ottenere anzi di più, per la facilità di ripetere le osservazioni fin che si vuole. Così oggi è tornato in favore il metodo di applicare al problema la determinazione sperimentale della velocità di propagazione della luce cogli apparati di Fizeau e di Foucault, e molto pure si spera in un altro, fondato sull'osservazione di quegli asteroidi, che possono più degli altri avvicinarsi alla Terra. Resta poi sempre inconcussa l'opinione di Le Verrier, che decisivamente superiore a tutti finirà col tempo per diventare il metodo fondato sul calcolo delle perturbazioni secolari prodotte dalla Terra nelle orbite dei pianeti ad essa più vicini, Venere e Marte.

Ma quando si viene a discutere l'insieme dei lavori eseguiti negli ultimi anni sulla distanza del Sole, non si può far a meno di provare un sentimento di sconforto. Io ho dinanzi a me più di 20 memorie dei più distinti astronomi, contenenti altrettante determinazioni di questa distanza, fatte negli ultimi dodici anni. Tutto quello che l'industria umana può immaginare di meglio in fatto di istrumenti e di calcoli, vi si trova applicato; non furono risparmiati lunghi e faticosi viaggi, nè spese di milioni, nè masse di computi capaci di spaventare tutt'altri che quegli uomini di ferro. Eppure i risultati non sono d'accordo fra loro, e variano fra limiti assai più larghi che non si debba desiderare.

La così detta *parallasse del Sole* (cioè il semidia-

metro angolare apparente dell'equatore terrestre quale sarebbe veduto da un osservatore collocato nel Sole) (1), varia secondo questi calcolatori fra 8",74 e 8",96: in altri termini la distanza media della Terra dal Sole risulta, secondo alcuni, contenere 23600 semidiametri equatoriali terrestri, secondo alcuni soltanto 23021, gli altri dando cifre intermedie. Quelle due cifre differiscono fra di loro di 579 semidiametri dell'equatore terrestre, che è quasi la *quarantesima* parte di tutta la distanza. Il valore della parallasse del Sole, intorno al quale si raggruppa la maggior parte dei risultati è 8",85, adottato ora provvisoriamente da molti astronomi di comune accordo, per eseguire in modo comparabile i calcoli astronomici nei quali entra questa quantità. A tale valore della parallasse corrisponde la distanza della Terra dal Sole di 23307 semidiametri dell'equatore terrestre (148,7 milioni di chilometri); e l'incertezza che pende ancora su tale determinazione si può stimare senza esagerazione a un *dugentesimo* di tutta la distanza, o a 117 semidiametri della Terra, che fa quasi il doppio della distanza della Luna da noi. Ma non è ben dimostrato che l'errore non possa esser anche più grande di questa quantità. L'errore è comparabile a quello di uno che sbagliasse di cinque millimetri nel misurare una lunghezza di un metro.

Di tanto essendo errato il modulo principale delle distanze planetarie, di altrettanto in proporzione devono stimarsi errate anche tutte quelle distanze. Così essendo Nettuno distante dal Sole 30,0551 di quei moduli, l'errore che commettiamo nello stimare la distanza del Sole sarà trenta volte maggiore di quella che commettiamo sulla distanza del Sole dalla Terra. Lo stesso dicasi delle distanze reciproche dei pianeti

(1) Dividendo il numero fisso 206265 per il numero di secondi contenuto nella parallasse del Sole, si ha per quoziente un terzo numero che esprime di quanti semidiametri dell'equatore terrestre è la distanza della Terra dal Sole.

fra di loro in qualsivoglia momento, delle dimensioni delle orbite dei satelliti, del diametro del Sole, delle lunghezze delle code delle comete, e delle misure delle loro orbite, anche nella parte più vicina al Sole e meglio conosciuta.

Più grande che nella semplice proporzione e quindi più sensibile ancora è l'effetto che un errore commesso sulla distanza del Sole produce nella stima delle masse del Sole e di tutti i corpi del sistema planetario altri che la Terra. Si può infatti dimostrare che l'errore di un millesimo sulla distanza del Sole da noi produce un errore di tre millesimi nel calcolo della sua massa. Mentre ancora 25 o 30 anni sono facendo assegnamento sulla parallasse solare di Encke si credevan gli astronomi di aver con molta approssimazione calcolato la massa solare a 351000 volte la massa della Terra, di botto Hansen nel 1864 la ridusse a 315000 masse terrestri e Le Verrier nel 1876 a 320000, diminuendola di quasi un *decimo* del valore prima assunto. E nell'ugual proporzione si dovettero ritenere diminuite tutte le altre masse planetarie, eccetto quella della Luna il cui valore si può ottenere con metodi più sicuri, senza passare per la parallasse del Sole.

Nelle misure dei corpi planetari, oltre all'errore proveniente dall'imperfetta cognizione della distanza fondamentale, altro errore più grave nasce dall'imperfezione inevitabile nella misura dei loro diametri angolari. Questi diametri angolari infatti sono sempre piccolissimi, e in nessun caso arrivano ad un intero minuto; onde per quanto piccolo sia l'errore commesso in senso assoluto, esso può facilmente arrivare ad essere una frazione notabile del tutto. Epperciò è difficile determinare colla precisione di più che un *centesimo* del loro valore i diametri di Giove, di Saturno, di Venere e di Marte; per Mercurio e per Urano l'incertezza arriva ad un *decimo*; e per Nettuno si può stimare almeno ad un *quinto*. La cosa si presenta ancora sotto un aspetto meno favorevole, quando si

voglia definire la grandezza di un pianeta non dal suo *diametro*, ma dal suo *volume*. Infatti per esempio se le misure assegnate dai diversi osservatori pel diametro di Nettuno variano nel rapporto di 4 a 5, le misure che se ne deducono per la superfice varieranno nel rapporto di 16 a 25, cioè prossimamente di 2 a 3; e quelle del volume varieranno nel rapporto di 64 a 125, cioè prossimamente di 1 a 2. E così è purtroppo. Che se ad alcuno questo stato di cose paresse intollerabile ed indegno della perfezione di cui si vanta l'Astronomia moderna, noi lo pregheremmo di riflettere, che misurare Nettuno stando sulla Terra è un problema simile a quello di misurare il diametro della cupola del Vaticano stando alla distanza di 4000 chilometri, quanti ne corrono a un dipresso da Roma alla Mecca od a Teheran.

La difficoltà di ottenere esatte misure del sistema planetario sta principalmente in questo, che la Terra ha dimensioni troppo piccole per dare una base sufficiente ad operazioni geometriche della precisione richiesta. Il caso di determinare la distanza del Sole prendendo per base il diametro della Terra è simile a quello di un geometra, il quale volesse determinare la distanza di un oggetto lontano dodici chilometri, appoggiandosi con un solo triangolo ad una base lunga un metro. E l'approssimazione raggiunta sarebbe certamente minore di quella che si è riuscito ad ottenere, se ad aiutare l'operazione non concorressero circostanze, che permettono di impiegare in questa triangolazione celeste artifizi speciali, e se egli non avesse a sua disposizione altri metodi fondati sopra la velocità della luce e sopra certi effetti dell'attrazione universale.

Tali sussidi mancano intieramente, quando si esce dal mondo planetario e si tenta di misurare la distanza di una stella. Non c'è qui per adesso altro metodo praticabile, che quello di formare un gran triangolo avente il vertice nella stella, e appoggiato

ad una base conosciuta. Vero è che in questo caso la base non è più soltanto il diametro del globo terrestre, ma è il diametro dell'orbita descritta dalla Terra intorno al Sole, il qual diametro è 23 mila volte più grande. Se ora la distanza della stella fosse 23 mila volte maggiore che quella del Sole, noi ci troveremmo in un caso di difficoltà analoga a quella della ricerca della parallasse solare. Ma nessuna stella si conosce che non sia almeno da noi 270 mila volte più distante che il Sole. Così in realtà la misura delle distanze stellari è un problema ancora assai più difficile che quello della distanza del Sole; e rassomiglia a quello di determinare la distanza di un oggetto collocato a Firenze od a Roma per mezzo di un solo triangolo, la cui base, della lunghezza di un metro e non più, sia collocata a Milano. E quanto più grande è la lontananza della stella, tanto maggiore è la difficoltà. Ancora cinquant'anni sono, la cosa si considerava come disperata: e benchè appunto verso quell'epoca W. Struve coll'esempio della lucida della Lira, e Bessel coll'esempio della 61ª del Cigno avessero dimostrato che la distanza delle stelle non è assolutamente inaccessibile all'industria degli astronomi, pure le loro ricerche non ebbero molti continuatori, onde ancora nel 1877, il P. Secchi, pur ammettendo che si fosse già ottenuto qualche successo, si esprimeva ancora su questo argomento in un modo molto dubitativo (1). Fortunatamente anche questo ramo dell'Astronomia, come molti altri, negli ultimi anni si è venuto grandemente perfezionando, ed io sono in grado di presentare ai lettori un numero di risultati sicuri, assai maggiore di quello che sette anni fa era a notizia del celebre astronomo del Collegio Romano.

Il principio su cui si fondano tali misure era già stato riconosciuto da Galileo, e si trova descritto in

(1) SECCHI, *Le stelle*, pag. 292.

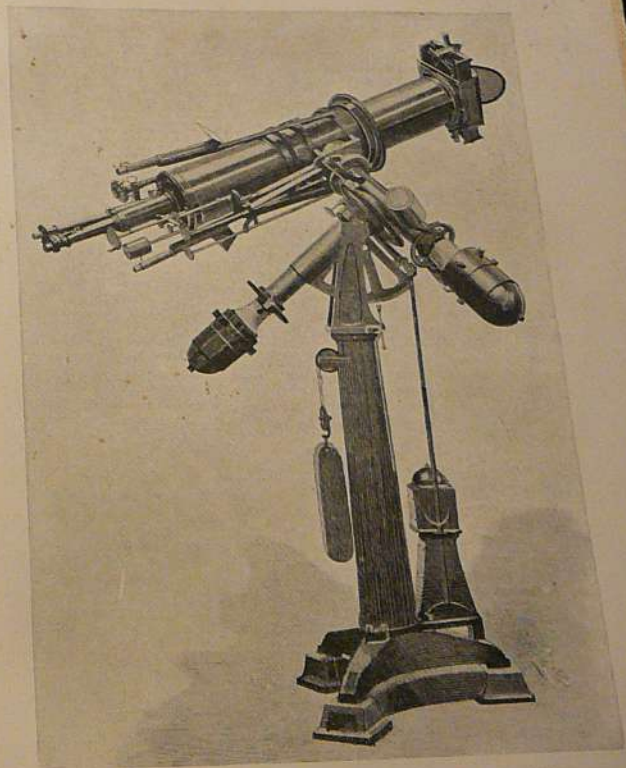
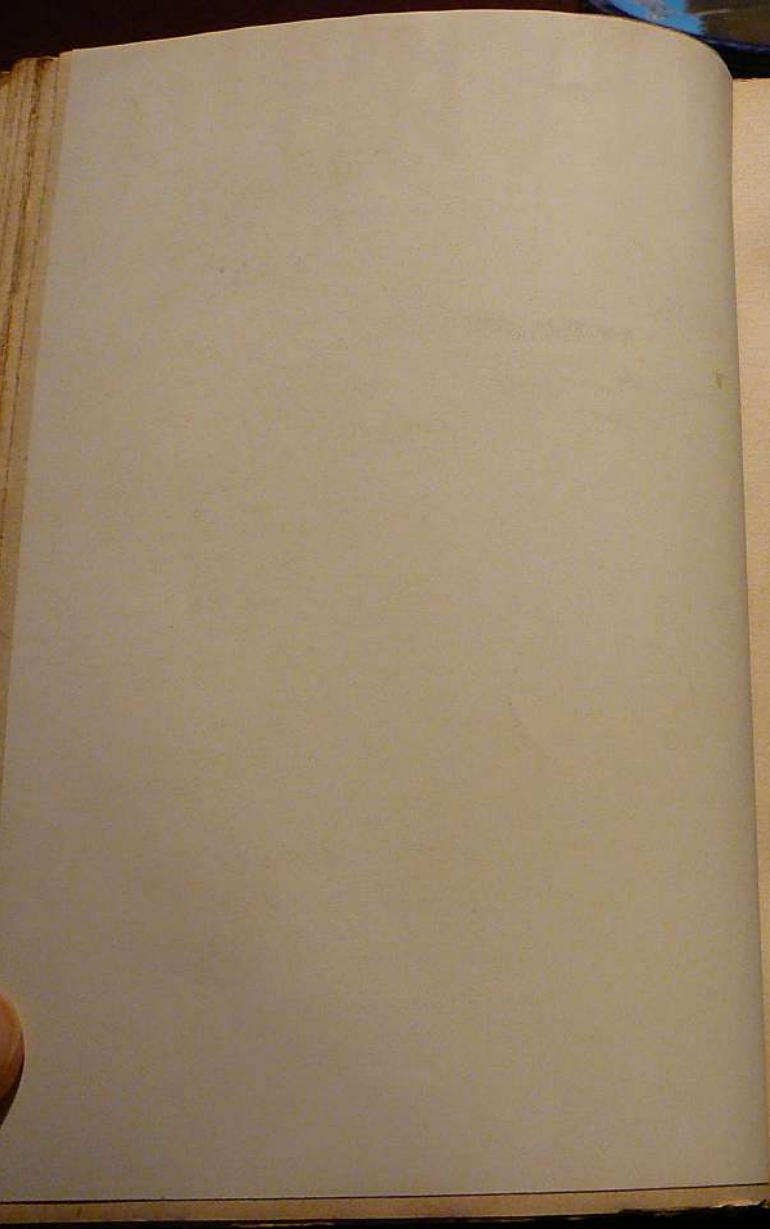



Fig. 28. — Eliometro di Repsold.

molti libri, per esempio nella recente opera del P. Secchi sulle stelle (1). Conosciuto abbastanza è pure l'istrumento detto *eliometro*, che principalmente serve in tale occasione. Nella figura vicina è disegnato l'eliometro, di cui usarono i signori Gill ed Elkin nelle loro misure di distanze stellari fatte al Capo di Buona Speranza negli anni 1882-1883.

È un cannocchiale coll'obbiettivo diviso in due metà semicircolari mobili l'una rispetto all'altra, il quale permette di misurare colla massima precisione le distanze angolari fra due stelle, quando le direzioni delle loro visuali non comprendano fra di loro un angolo molto maggiore di un grado. Quando una delle due stelle, sia relativamente molto vicina a noi, e l'altra molte volte più lontana da noi che la prima, il moto della Terra nella sua orbita cambia il punto di prospettiva, e produce nell'intervallo angolare fra le due visuali a loro dirette una variazione *regolare, lenta e piccolissima*, la quale si ripete a periodi annuali sempre nello stesso modo. È appunto questa variazione che si tratta di constatare misurando all'eliometro quell'intervallo ripetutamente in tutte le stagioni (cioè in tutte le posizioni della Terra nella sua orbita), ed è da questa variazione che si può ricavare la distanza della stella più vicina fra le due.

I risultati più degni di fede sulle distanze stellari sono stati tutti ottenuti con questo metodo, e quasi tutti coll'uso di eliometri perfezionati, nella costruzione dei quali, dopo Fraunhofer, tiene oggi il primo vanto la casa Repsold di Amburgo. L'esposizione di tali risultati sarà oggetto di un altro articolo.

---

(1) *Le stelle*, pag. 289.

IV.

Molto si è speculato in ogni tempo sulla distanza delle stelle, sul diametro della Via Lattea, e sulla grandezza dell'Universo: è questo il campo limite fra il raziocinio e l'immaginazione, dove l'astronomo, stanco dalle osservazioni faticose e dai calcoli più ancora faticosi che le osservazioni, si permette talvolta di andar errando col pensiero e di appagare la propria e l'altrui curiosità con qualche *lusus ingenii*. Anche queste speculazioni però bisogna che siano fondate su premesse sufficientemente sicure, e che in esse si abbia qualche riguardo alla probabilità. Il principal fondamento, senza del quale è vanissima cosa il ragionare su tali argomenti, è la conoscenza delle distanze almeno delle stelle a noi più vicine. Senza di questa base si farebbe come il geografo che volesse ragionare della grandezza e della distanza dell'Australia e dell'America, e tuttavia non sapesse farsi un'idea approssimata delle distanze e posizioni rispettive delle città e dei villaggi che circondano il luogo ov'egli abita.

È dunque la misura della distanza delle stelle a noi più vicine il primo e più essenziale passo per chi voglia sapere qualche cosa di certo o di probabile sulla forma e sulle dimensioni del cosmo visibile. Di ciò persuasi, vari astronomi del nostro tempo hanno rivolto i loro tentativi a perfezionare anche questa parte della scienza: ed ora siamo giunti a conoscere con una certa approssimazione la distanza di un numero abbastanza notevole di stelle. Già negli ultimi

trenta anni una schiera di valorosi tedeschi, Otto Struve, Auwers, Winnecke, Krüger, Brünnow, erano entrati in questa via, ed avevano ottenuto importanti risultati sopra stelle, di cui già per altri motivi si poteva congetturare che fossero tra le più vicine a noi. Soltanto però negli ultimi tempi si riconobbe la necessità di considerare il problema delle distanze stellari in un modo più generale, e di definire quale è la distanza media che si può attribuire alle stelle di un determinato grado di splendore apparente. In tale ricerca si distinguono specialmente i lavori già fatti, o che si stanno facendo, nei tre osservatori di Dublino, del Capo di Buona Speranza e di Newhaven (Stati Uniti), per opera di tre distinti osservatori, R. S. Ball, David Gill e W. L. Elkin.

Nella misura delle distanze stellari, come in quella delle distanze planetarie, si può adottare per unità il semiasse maggiore dell'orbita, che la Terra descrive intorno al Sole. Siccome però tale unità è molto piccola rispetto a quelle distanze, gli astronomi preferiscono di sostituirvi l'indicazione della *parallasse annua* di ciascuna stella, che è l'angolo, sotto cui un osservatore collocato nella stella vedrebbe il semiasse sopradetto, supposto esteso nella direzione perpendicolare al raggio della vista. Manifestamente tale angolo è tanto più piccolo, quanto più grande è la distanza: una stella infinitamente distante avrebbe una parallasse nulla. Un altro modo molto usato di esprimere le distanze stellari è quello di assegnare il tempo che la luce impiegherebbe per arrivare a noi dalle stelle, nella supposizione (fino ad oggi non provata ma tuttavia sufficientemente plausibile) che durante questo tragitto essa abbia costantemente la stessa velocità di propagazione che osserviamo aver essa negli spazi occupati dal sistema solare: velocità che con molta approssimazione si può ammettere sia di 300 mila chilometri per minuto secondo. Con tal velocità, la luce ci arriva dal Sole in 498 secondi (in

media); ma per arrivarci dalle stelle anche più prossime impiega anni interi (1).

Ciò posto, riferisco nella tabella seguente tutte le stelle, per le quali fino ad oggi è stato possibile di determinare la parallasse e la distanza con sufficiente approssimazione; e quando dico sufficiente approssimazione, intendo che sia sperabile di non aver su quelle distanze un errore maggiore di un *terzo* o di un *quarto* delle distanze stesse. Nella prima colonna è indicato il nome sotto cui ogni stella suole essere designata nei cataloghi astronomici, e dopo il nome, la grandezza apparente della stella secondo la consueta scala. Nella seconda colonna è dato il nome dell'autore di ciascuna determinazione. La terza colonna dà la parallasse annua in secondi d'arco: la quarta dà la distanza, calcolata prendendo per unità il semiasse maggiore dell'orbita terrestre: l'ultima dà la stessa distanza espressa pel tempo che la luce impiegherebbe a percorrerla nelle supposizioni poc'anzi riferite.

---

(1) La conversione di un modo di computare le distanze in un altro modo si fa secondo le regole seguenti. Data la parallasse in secondi, basterà dividere per la medesima il numero costante 206265, e si otterrà la distanza delle stelle espressa prendendo per unità il semiasse maggiore dell'orbita terrestre. Dividendo poi per la parallasse il numero costante 3,2551 si ottiene il numero di anni che la luce della stella impiegherebbe per venire a noi. E moltiplicando questo numero d'anni per il numero costante 63369 si ottiene la distanza della stella in unità del semiasse sopradetto.

Nome e grandezza della stella	Autore della determinazione	Parallasse	Distanza in semi-grandassi dell'orbe terrestre	La luce impiega a percorrerla anni
Sirio, 1ª	Gill	0,370	557 000	8,8
id.	Elkin	0,430	480 000	7,6
α Centauri, 1ª........	Gill	0,753	274 000	4,3
id.	Elkin	0,730	283 000	4,5
α Lyrae, 1ª	O. Struve	0,147	1403 000	22,2
id.	Hall	0,180	1146 000	18,1
id.	Brünnow	0,212	973 000	15,4
α Tauri, 1ª	O. Struve	0,516	400 000	6,3
η Cassiopeiae, 4ª	O. Struve	0,154	1339 000	21,1
o² *Eridani*, 4ª	Gill	0,166	1243 000	19,6
e *Eridani*, 4ª	Elkin	0,140	1473 000	23,2
70 *Ophiuchi*, 4ª-5ª....	Krüger	0,156	1322 000	20,9
61 *Cygni*, 5ª	O. Struve	0,506	417 000	6,4
id.	Auwers	0,559	378 000	5,8
id.	Hall	0,478	432 000	6,8
id.	Ball	0,476	433 000	6,8
σ Draconis, 5ª	Brünnow	0,245	842 000	13,3
Groombridge, 2789, 6ª	Ball	0,482	428 000	6,7
μ Cassiopeiae, 5ª-6ª ..	O. Struve	0,442	603 000	9,5
Groombridge 1618, 7ª	Ball	0,322	641 000	10,1
Lalande 21185, 7ª	Winnec.	0,501	412 000	6,5
Lacaille 9352, 7ª-8ª ..	Gill	0,285	724 000	11,4
Groombridge 34, 8ª-9ª	Auwers	0,292	706 000	11,2
Lalande 21258, 8ª-9ª	Auwers	0,262	787 000	12,4
id.	Krüger	0,260	793 000	12,5
Oeltzen 17415, 9ª	Krüger	0,247	835 000	13,2

Fra queste diciotto stelle se ne trovano di tutti gli ordini di grandezza dalla più brillante del cielo, che è Sirio, fino al n. 17415 del Catalogo boreale di Oeltzen, che è della nona grandezza. Dodici di esse sono visibili all'occhio nudo, e sei sono telescopiche. Queste stelle non sono state scelte a caso per la misura della parallasse, ma trattandosi di una operazione molto difficile e che domanda assai tempo e lavoro, gli osservatori hanno diretto i loro tentativi su quelle stelle, per le quali era probabile una maggiore prossimità, e quindi una parallasse abbastanza sensibile per poter essere misurata cogli odierni strumenti. Il carattere che principalmente li ha guidati finora nella scelta, è quello di un moto proprio molto veloce. Sia infatti che questo moto proprio sia reale e indichi il progredire della stella nello spazio; sia che esso sia soltanto apparente e rifletta soltanto il moto proprio del Sole verso la costellazione d'Ercole: o sia infine (come d'ordinario deve avvenire) che provenga dall'effetto combinato di queste due cause: sempre esso sarà in generale più grande per le stelle a noi vicine, che per le lontane. Ed infatti questo criterio per giudicare della vicinanza delle stelle si è mostrato in pratica per lo più abbastanza sicuro; in ogni caso molto più sicuro che quello dedotto dallo splendore apparente della stella. Anzi l'esperienza ha mostrato che quest'ultimo criterio è spesso fallace, essendosi trovata una parallasse sensibile per piccolissime stelle, quali sono le ultime della nostra lista, mentre di molte stelle di prima grandezza pare che la parallasse sia molto piccola, e la distanza molto grande. Ciò dimostra essere nello spazio celeste mescolate insieme ad uguali distanze stelle di grande e di piccola mole, come avviene del resto anche per i pianeti del sistema solare, dove si ha grandissima varietà di dimensioni, da Giove ai più minuti asteroidi.

Considerando la nostra tavola si scorge, che finora non si è riuscito a trovare alcuna stella, la cui distanza

sia minore di quella che può percorrere la luce in quattro anni; è possibile, ma non è molto probabile, che se ne abbia a trovare in avvenire. Attesa la grande difficoltà di misurare angoli così minuti come sono queste parallassi, l'errore in ciascuno di essi, benchè molto piccolo considerato in quantità assoluta, è tuttavia molto grande considerato relativamente alla quantità stessa che si misura; questa incertezza relativa è maggiore per le stelle più lontane e cresce rapidamente col crescere delle distanze, tanto che oggi non è possibile determinare una parallasse minore di un decimo di secondo (corrispondente ad una distanza maggiore di quella che percorre la luce in 32 anni), senza correr rischio di commettere un errore poco minore, od uguale, od anche maggiore della parallasse e della distanza stessa. Il grado di precisione che si può attribuire alle misure di questa fatta si può giudicare dal grado di accordo con cui diversi osservatori hanno determinato la distanza di una medesima stella. Così per esempio la parallasse di 61 *Cygni* si può considerare come discretamente stabilita dall'accordo di più osservatori, benchè le differenze fra le varie determinazioni qui sopra riferite ascendano finora 0",083, la quale è un *sesto* circa della parallasse intiera: alla quale differenza corrisponde pure una differenza analoga nelle distanze trovate, che variano fra 5,8 e 6,8 anni di propagazione della luce. Molto più incerta invece è la parallasse di Wega o di *a Lyrae:* infatti le differenze fra le varie determinazioni qui sopra registrate, benchè in misura assoluta arrivino soltanto a 0",065, importano relativamente circa un terzo di tutta la parallasse: le distanze variano qui fra 15,4 e 22,2 anni di percorso luminoso, con una differenza di quasi 7 anni, mentre per 61 *Cygni* si aveva appena un anno.

Adunque siccome col crescere della distanza diminuisce la parallasse, e il grado di precisione delle nostre osservazioni rimane sempre il medesimo, ben

presto si arriva al limite, in cui tale quantità si confonde cogli errori della misura. Tale è il caso di varie stelle omesse nella lista precedente (come la Stella Polare, Arturo, la Capra) per le quali la parallasse pare troppo piccola, per poter dar luogo ad un'approssimazione qualunque. Così per esempio il signor Elkin negli anni 1881-1882 coll'eliometro del Capo di Buona Speranza ha tentato di determinare la parallasse di Canopo, che è, dopo Sirio, la stella più brillante di tutto il cielo. Egli trovò per risultato la parallasse 0",028 (1), dalla quale altri potrebbe argomentare, che la luce di Canopo impieghi 116 anni per venire sino a noi. Ma questo non è che un risultato aritmetico, poichè Elkin medesimo stima che l'errore di questa sua determinazione possa essere uguale od anche maggiore di 0",030, cioè maggiore della parallasse stessa. Onde in ultima analisi tutto quello che si può ricavare da quelle osservazioni è che Canopo senza dubbio dista da noi molto più che tutte le stelle della tabella qui sopra, e che molto probabilmente la sua parallasse è minore di 0",1 e la sua distanza maggiore di 32,5 anni di propagazione luminosa: di quanto, non si può saperlo. Nondimeno questa cognizione negativa è già per sè nel caso presente non priva d'interesse. Infatti dalla comparazione fotometrica della luce del Sole con quella delle stelle è risultato per le ricerche di Pickering e di altri che il Sole apparirebbe a noi come una stella di prima grandezza, quando si supponesse allontanato alla distanza che la luce percorre in tre anni circa (2). Ora poichè Canopo è almen lontano da noi il decuplo di questa distanza, e tuttavia in apparenza brilla molto più che le stelle ordinarie della prima grandezza, se ne conclude che Canopo è in realtà almeno 100 volte più

---

(1) Gill and Elkin, *Heliometer Determinations of Stellar Parallax in the Southern Hemisfere*, 1884, pag. 183.

(2) Houzeau, *Vade mecum de l'Astronome*, 1882, pag. 888.

luminoso che il nostro Sole; superiorità questa che può provenire da un molto maggior diametro od anche da una maggior intensità specifica della luce di Canopo sopra l'unità della sua superfice, e forse proviene in parte dall'una e in parte dall'altra causa.

Nella costellazione della Grande Orsa vi è una piccola stella appena visibile all'occhio nudo, la quale tuttavia è una delle più interessanti del cielo, per esser quella, che di tutte le migliaia di stelle finora esplorate mostra la più grande velocità apparente del suo moto proprio. È la stella 1830 del Catalogo di Groombridge, chiamata anche stella d'Argelander dal nome dell'astronomo che scoprì tale sua proprietà. Essa si muove sulla sfera celeste apparente, percorrendo in un anno non meno di 7'' di moto angolare, e descrive quindi in 237 anni uno spazio uguale al diametro apparente del Sole. Tale velocità fece dapprincipio pensare che dovesse essere molto vicina a noi, ed avere una parallasse sensibile; ma questa aspettazione fu delusa. I valori trovati da diversi astronomi per la parallasse della stella d'Argelander sono tutti piccolissimi e molto fra loro discordi: tanto che, mentre Wichmann osservando all'eliometro di Königsberga assegnava 0'',182, corrispondente alla distanza che la luce percorre in 18 anni, Otto Struve dalle sue osservazioni fatte al refrattore di Pulkova deduceva 0'',034 e una distanza di 96 anni di percorrenza luminosa. Comparando fra loro le varie determinazioni, sembra certo che la parallasse non possa essere maggiore di 0'',1, corrispondente a 32 anni di luce. Questo significa che il raggio dell'orbita terrestre trasportato alla distanza di quella stella, sottende un angolo non maggiore di 0'',1. Ma poichè il moto annuo proprio della stella alla stessa distanza ci appare di 7'', cioè 70 volte maggiore; si trae la conclusione indubitata, che questa stella si muove descrivendo ogni anno uno spazio *almeno* uguale a 70 raggi dell'orbita terrestre; e che quindi la velocità del suo pro-

gresso cosmico è almeno dodici volte maggiore della velocità con cui la Terra percorre la propria orbita, cioè almeno di 360 chilometri per ogni secondo di tempo. Questa è una velocità di cui non si ha esempio nel sistema planetario, e che soltanto in qualche rara occasione è raggiunta o sorpassata da quelle comete che molto si approssimano al Sole, come è avvenuto per esempio per la grande cometa del 1882. Risulta poi con un ragionamento analogo a quello fatto poco anzi per Canopo, che lo splendore assoluto di questa stella può uguagliare od anche di molto superare quello del Sole.

Riassumendo, si può dire che dalle laboriose ricerche sulle parallassi noi abbiamo imparato a quale intervallo da noi cominci l'infinita folla delle stelle. Nulla però ci dicono queste ricerche sopra l'estensione per cui si stende lo spazio stellato al di là di quel limite inferiore, e dove quello spazio abbia (se pure lo ha) il suo confine esterno. Ciò che si può affermare senza rischio d'errore, è questo: che di gran lunga il maggior numero delle stelle e fra queste molte delle più brillanti si trovano al di là del limite delle parallassi misurabili, limite che nello stato presente dell'astronomia pratica si può stabilire alla distanza che percorre la luce in 30 o 40 anni. Il numero delle stelle poste al di qua di questo limite non è ancora accertato, ma non può essere in nessun caso molto grande.

Le ricerche sistematiche della parallasse, fatte a Dublino negli ultimi anni dal prof. Ball, hanno confermato questo risultato. Questo astronomo ha esplorato non meno di 410 stelle per mezzo di due osservazioni fatte in quelle epoche dell'anno, in cui l'effetto della parallasse nello spostar la stella è il massimo possibile, e nei casi in cui tali osservazioni preliminari accennavano a qualche parallasse probabile, ha ripetuto quelle osservazioni colla massima frequenza e diligenza. In tutto quel gran numero di stelle non ne

trovò più di due, che dessero una parallasse ben certa: e sono le stelle 1618 e 2789 del Catalogo di Groombridge, già riferite nella tabella qui sopra. Ball è di opinione che nessuna delle altre da lui esaminate possa aver una parallasse di 1'' (distanza tre anni e un quarto di percorso luminoso), ed anche solo di 0'',5 (distanza sei anni e mezzo di percorso luminoso). In ogni caso le sue ricerche hanno di molto abbassato la speranza che si potesse concepire, di trovar finalmente qualche stella, che si potesse considerare come nostra speciale vicina (1).

Il signor Gill ha presentato alla Società Astronomica di Londra (2) un piano di operazioni, secondo il quale si tenterebbe di stabilire non già la distanza speciale di qualche stella più vicina, ma la distanza media di un certo numero di stelle scelte nei due primi ordini di grandezza, senza alcun riguardo ad una maggiore o minore probabilità di vicinanza. Egli si è associato in questa impresa il dottor Elkin, il quale ora si è stabilito all'osservatorio di Newhaven ed ivi compirà sulle stelle boreali del cielo la ricerca, che Gill all'osservatorio del Capo farà per le stelle australi. Ambidue gli osservatori sono muniti di un magnifico eliometro di Repsold, e la perizia già da loro in passato dimostrata in questo genere di osservazioni promette in breve tempo i più brillanti e solidi risultati.

Noi siamo così giunti al limite dell'Universo misurabile. Qui però non sono ancora i limiti della scienza: al difetto di misure l'ingegno umano ha cercato di supplire col ragionamento e colle probabilità, ed i confini dell'ignoto sono stati allontanati ancora di qualche poco, come spero di far vedere un'altra volta.

---

(1) *Astronomical Observations and Researches made at the Observatory of Trinity College, Dublin.* Fifth Part, 1884.

(2) *The Observatory*, 1884, pag. 30-33.

V.

Esposti nelle precedenti rassegne i lavori, che negli ultimi anni si fecero dagli astronomi per definire le distanze delle stelle in quelle parti del cielo che sono in qualche modo ancora accessibili alle misure astronomiche, noi dobbiamo ora elevarci agli spazi superiori, e considerare dapprima quelle regioni dove sono sparse stelle abbastanza brillanti e abbastanza vicine per rendersi visibili all'occhio non armato di telescopio. Abbiamo veduto che una piccola parte di queste stelle sta ancora entro al limite delle parallassi misurabili; ma l'esperienza fatta finora è già sufficiente per dimostrare che il maggior numero di esse trascende questo limite.

Nella classificazione di queste stelle il carattere più ovvio è l'intensità del loro splendore apparente. Esso è anche, nello stato presente dell'Astronomia stellare, il più importante (1), cioè quello su cui è permesso di far maggiore assegnamento nello studio sulle distanze relative di questi corpi. È noto, che già gli astronomi greci s'eran formata a stima d'occhio una scala di sei ordini delle grandezze apparenti delle stelle, includendo nel primo ordine di grandezza quindici o venti delle più luminose, attribuendo al sesto ordine quelle che senza troppa fatica sono visibili ad occhio nudo, e scendendo dal primo al sesto per gradi intermediari. Tale uso, che ancora oggi si pratica, è fondato

(1) La velocità del moto apparente darebbe forse un criterio ancora più utile; ma tal moto apparente è conosciuto per troppo poche stelle con sufficiente esattezza, e per la gran massa delle stelle telescopiche poi si può dire che è affatto ignoto. L'uso di questo sussidio sarà certamente fecondo di risultati, ma si deve riservarlo ad uno stadio più avanzato dell'Astronomia.

sopra semplici estimazioni dello splendore delle stelle, fatto a vista d'occhio. Non è dunque da far meraviglia, che esso abbia fino ad oggi prestato luogo a discordanze importanti nella stima della classe in cui deve riporsi una data stella: onde in tutta questa materia regnò la più grande confusione fino agli ultimi tempi. Veramente gli autori dei lavori uranografici più recenti, applicando anche in queste estimazioni ad occhio quella maggior diligenza e quella sicurezza pratica che caratterizza i grandi osservatori, hanno ridotto di molto queste incertezze: e si può dire che le *Uranometrie* di Argelander, di Heis e di Houzeau per il cielo visibile nei climi europei, e quella di Gould per il cielo antartico, hanno dato delle stelle visibili all'occhio nudo una rappresentazione tanto fedele, quanto per gli usi comuni si può desiderare (1).

Tuttavia neppure in queste opere si può dire che

---

(1) L'*Uranometria Nova* d'ARGELANDER, benchè dati dal 1843, è ancora oggi la più fedele e la più soddisfacente rappresentazione che si abbia del cielo boreale. Contiene 3256 stelle, visibili all'occhio ordinario in circostanze comuni d'atmosfera, e si estende fino al 30° parallelo australe circa. Invece l'*Atlas Novus Coelestis* di HEIS (1872) comprende anche le stelle visibili soltanto in occasioni di serenità eccezionale da occhi più acuti dell'ordinario; esso è quindi più abbondante (5409 stelle) ma non è privo d'errori. Ottimo lavoro è altresì l'*Uranométrie Générale* di HOUZEAU (1878), il quale osservando in diverse località della zona torrida, ha potuto descrivere tutto il cielo (5719 stelle), ma le sue carte non offrono delle costellazioni immagini così belle, come quelle degli autori precedenti. Tanto Heis, quanto Houzeau hanno rappresentato in qualche modo sulle loro carte anche la Via Lattea, la quale manca presso Argelander. Pel cielo australe abbiamo il lavoro di BEHRMANN, *Atlas des Südlichen gestirnten Himmels* (1874), che serve di supplemento all'*Uranometria Nova* di Argelander, ed è condotto nella stessa maniera, benchè con diligenza non uguale. Capitalissima opera invece è per tutto l'emisfero australe del cielo l'*Uranometria Argentina* (1879) elaborata da GOULD con quattro assistenti nel cielo lucidissimo di Cordoba (Argentina), il quale gli permise di registrarvi ad occhio nudo le stelle fino alla 7ª grandezza; comprende 6755 stelle australi, oltre ad un migliaio di stelle boreali in una zona di 10 gradi al nord dell'equatore. Vi è descritta con molta cura anche la Via Lattea. Peccato che il formato delle carte sia troppo grande, e quindi assai incomodo all'uso.

si abbia una descrizione rigorosa delle stelle distinte per classi corrispondenti a gradi di splendore proporzionali secondo una legge uniforme e ben definita. Ad ottenere questo intento occorreva abbandonare la stima semplice delle grandezze secondo tipi convenzionali ereditati dai nostri maggiori, e surrogarvi una fotometria delle stelle, cioè una misura esatta degli splendori apparenti. Alcuni tentativi parziali in questa direzione erano già stati fatti negli ultimi cinquant'anni da Herschel, Steinheil, Seidel, Johnson, Stampfer, Zöllner, ed alcuni altri; e dai loro lavori si era giunti a riconoscere, che i sei tipi convenzionali di grandezza degli antichi astronomi, benchè non avessero altro fondamento che il consenso degli osservatori, pure formavano nelle quantità fotometriche della loro luce una progressione abbastanza regolare, la quale si avvicinava ad una progressione geometrica, in cui il rapporto d'ogni termine al termine consecutivo non era molto diverso da 2,5. Si verificò infatti, che si poteva ammettere nel tipo medio delle stelle solite a registrarsi fra quelle di 3ª grandezza una luce apparente due volte e mezzo più intensa, che nel tipo medio delle stelle di 4ª: in questo due volte e mezzo più luce, che nel tipo medio delle stelle chiamate di 5ª, ecc. Questo fatto dimostrò, che l'occhio degli osservatori era stato ben guidato dall'istinto dell'uniformità; che non restava, per stabilire la scala regolare ed uniforme dei rapporti, molto da fare: e che con correzioni di poco momento sarebbe stato possibile convertire le grandezze convenzionali finora adoperate, in grandezze fotometriche esattamente definibili, secondo una legge identica per tutti gli ordini di splendore, dando così all'Uranometria un fondamento rigoroso e appoggiato a concetti aritmetici bene determinati.

Un principio di questo lavoro fu fatto dal reverendo dottor Pritchard, direttore dell'osservatorio universitario di Oxford, colle osservazioni fotometriche da

lui pubblicate nel 1883 (1). Egli ha determinato lo splendore di 535 stelle dell'emisfero boreale, comprese nei cinque primi ordini di grandezza apparente; l'istrumento da lui adoperato è il *cuneo fotometrico*, cioè un cuneo di vetro semitrasparente, che si colloca fra l'occhio e l'oculare, in modo che la luce delle stelle debba traversarlo prima di entrare nella pupilla. Il cuneo essendo di grossezza variabile, coll'avanzarlo più o meno nel senso trasversale, si può intercettare con esso la luce della stella in maggiore o minor proporzione, od anche arrivare a renderla insensibile. La grossezza del cuneo necessaria per produrre quest'ultimo effetto è tanto maggiore, quanto la stella è più luminosa: e dà, per mezzo di un calcolo facile ad immaginare, una misura dello splendore della stella esaminata. Questo apparato è di uso estremamente semplice, ed impiegandolo colle dovute cautele può essere di grande utilità in tutte le questioni di fotometria celeste, specialmente nello studio delle stelle variabili.

Il primo completo esame fotometrico delle stelle visibili ad occhio nudo nelle nostre latitudini fu pubblicato nel 1884 per opera del prof. Pickering, direttore dell'osservatorio dell'Università Harvard (*Harvard College*) a Cambridge d'America, presso Boston (Massachusetts). In questa, che è una delle opere astronomiche di maggior importanza pubblicate negli ultimi tempi, si danno le grandezze fotometriche di 4260 stelle comprese fra il polo artico e il 30° parallelo australe determinate negli anni 1879-1882 da tre osservatori con una serie di più che centomila osservazioni (2). L'istrumento adoperato in questo lavoro è

(1) *Photometric Determinations of the relative Brightness of the Brighter Stars North of the Equator*, 1883, in *Memoirs of the Royal Astronom. Society*, vol. XLVII.

(2) *Observations with the Meridian Photometer during the years 1879-82* by EDW. PICKERING, *aided by* A. SEARLE and OLIVER C. WENDELL, *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, volume XIV, part. I, Cambridge, 1884.

stato ideato dallo stesso Pickering, il quale lo chiama *fotometro* meridiano perchè con esso le stelle si sogliono osservare presso il loro passaggio al meridiano, ciò che rende più facili e più spedite le osservazioni. Nel suo principio è identico al fotometro conosciuto di Zöllner: ma alla luce artificiale, impiegata da questo fisico come termine di comparazione, Pickering ha sostituito la luce naturale della stella polare, la cui costanza fu accertata con un gran numero di osservazioni, ed è assai maggiore che quella di qualsiasi luce artificiale finora inventata. Il fotometro meridiano è in sostanza un cannocchiale, in cui due obbiettivi, per mezzo di prismi riflettori convenientemente disposti, formano in un medesimo campo l'immagine di due stelle: una delle quali è la polare, l'altra è la stella di cui si vuol comparare la luce con quella della polare. Un prisma birifrangente, separa per ciascuna stella l'immagine in due; e l'immagine ordinaria dell'una viene ad esser comparata coll'immagine straordinaria dell'altra. Fra queste e l'occhio è collocato un prisma di Nicol, la cui rotazione (esattamente misurabile per mezzo di un circolo diviso) può estinguere l'una o l'altra delle due immagini comparate od anche renderle uguali; le posizioni in cui il Nicol produce questi effetti, lette sul circolo suddetto, danno il rapporto delle intensità luminose delle due stelle per mezzo di un semplice calcolo, fondato sopra un teorema ben conosciuto nell'ottica fisica.

L'opera di Pickering dà la misura fotometrica di tutte le stelle contenute nell'Uranometria Nova di Argelander, ed anche di tutte quelle che nei lavori sopra citati di Heis, Houzeau, Behrmann, Gould sono segnate come di 6ª grandezza o come non inferiori alla 6ª grandezza. Il suo scopo era di comprendere nelle sue ricerche tutte le stelle esistenti fino a questo limite, ed è da credere, che ben poche gli saranno sfuggite. Nel calcolo delle intensità luminose egli ha tenuto conto dell'estinzione che la luce soffre per

l'imperfetta trasparenza dell'atmosfera, estinzione che varia col variare dell'altezza della stella sull'orizzonte. Tutte le grandezze di Pickering sono *grandezze zenitali*, cioè quelle che ogni stella mostrerebbe, quando fosse trasportata allo zenit. Le grandezze intiere di Pickering formano una progressione geometrica, in cui il rapporto dell'intensità luminosa da un termine all'altro è di 2,5119 e corrisponde al rapporto che più approssimativamente rappresenta la scala delle grandezze convenzionali fino ad oggi usate. Dato lo splendore di un ordine di grandezza si ottiene quindi lo splendore dell'ordine seguente dividendo per 2,5119: e rappresentando con 1000 lo splendore di una stella di prima grandezza, si ha per gli altri gradi l'intensità di splendore indicata nella serie che segue:

Grandezza apparente	Intensità proporzionale	Numero delle stelle necessarie a dar la luce di una stella di prima grandezza.
1	1000	1,00
2	398	2,51
3	158	6,31
4	63	16,22
5	25	39,81
6	10	100,00

Nella scala di Pickering adunque una stella normale di 6ª grandezza (che è ancora visibile all'occhio nudo in circostanze di serenità ordinaria) ha appunto la centesima parte dello splendore delle stelle adottate come tipo di 1ª grandezza. Una tale stella è Aldebarano detta anche l'occhio del Toro.

Siccome però ben poche stelle hanno uno dei gradi di splendore indicati nella tabella qui sopra, e corrispondenti a grandezze intiere: Pickering ha introdotto il frazionamento delle grandezze, ed ha espresso la luce delle sue stelle in grandezze e centesimi. Così per la stella polare, che è il termine di paragone di tutte le

altre, egli ha adottato, onde ottenere il massimo accordo possibile colla scala comunemente usata, la grandezza zenitale 2,15.

Da questo insigne lavoro apprendiamo per la prima volta qual'è la relazione precisa fra la moltitudine delle stelle e il grado del loro splendore apparente. Eseguendo la numerazione si trovano le seguenti proporzioni numeriche:

fino alla grandezza			1,00	stelle	7
da	1,00	a	2,00	»	19
»	2,00	»	3,00	»	73
»	3,00	»	4,00	»	229
»	4,00	»	5,00	»	736
»	5,00	»	6,00	»	2103

nella quale serie si osserva una progressione regolarissima, ogni numero essendo circa il triplo del precedente. Anche più regolare è la serie che si ottiene sommando i numeri in modo da avere il censo di tutte le stelle dalla più brillante fino al 1º, al 2º, al 3º,.... al 6º ordine inclusivamente:

			Numero di tutte le stelle
fino alla grandezza		1,00	7
»	»	2,00	26
»	»	3,00	99
»	»	4,00	328
»	»	5,00	1064
»	»	6,00	3167

dove ancora ogni numero è il triplo di quello che lo precede, o poco più. Queste cifre corrispondono alla parte della sfera celeste esplorata da Pickering, che è esattamente $^3/_4$ di tutta la sfera. Aggiungendo quindi a ciascun numero delle due tabelle precedenti la sua terza parte si ottengono i numeri prossimamente corrispondenti a tutto il cielo.

La regolarità somma, con cui procedono le due serie qui sopra riferite, è un fatto di grande significato: essa mostra, che la distribuzione delle stelle intorno a noi non è fatta a capriccio, e che le stelle dei diversi ordini (considerata la cosa in generale, e per masse) sono collocate a distanze regolarmente proporzionate dal Sole. La legge di queste distanze è stata già oggetto delle ricerche di Herschel, e particolarmente di W. Struve, quando non si possedevano per base che elementi molto imperfetti. Il calcolo si può fare in due ipotesi differenti prese per base da questi due astronomi; è importante vedere quello che risulta applicando le loro teorie alle osservazioni fotometriche degli Americani.

Ipotesi della frequenza costante. — Per dedurre la relazione fra le distanze medie delle stelle dei vari ordini e il loro numero, W. Struve ha posto per principio, che le stelle siano ordinate nelle varie distanze secondo i loro splendori apparenti in modo che allontanandosi successivamente dal Sole s'incomincino a trovare quelle che noi diciamo di prima grandezza, poi quelle che chiamiamo di seconda, ecc. A questo, che si può ammettere prendendo la cosa in genere e non dissimulando le eccezioni (1), aggiunge l'altra supposizione che la frequenza delle stelle nelle diverse parti dello spazio considerato sia la medesima dappertutto, così che ovunque un volume determinato di esso spazio contenga rigorosamente o almeno approssimativamente il medesimo numero di stelle. In que-

(1) Dopo quanto si è detto a questo proposito in un articolo precedente (pagina 336), si deve ritenere che le eccezioni siano tanto numerose, da rendere illusoria la regola. Fortunatamente si può dimostrare che le conseguenze a cui si arriva coi ragionamenti qui sopra addotti sussistono anche quando si suppongano in tutto lo spazio considerato le stelle grandi e le piccole commiste dovunque in uguale proporzione e secondo la medesima legge. Una discussione rigorosa di tali particolarità è impossibile in questo luogo. Veggansi le *Effemeridi di Milano* pel 1865 e GYLDÉN, *Relationer emellan stjernornas glans*, ecc., nei *Rendiconti dell'Accademia di Stockholm*, pel 1872.

ste supposizioni il problema di trovare le distanze corrispondenti ai vari ordini di grandezza apparente è assai semplice. Essendo infatti i numeri delle stelle proporzionali ai volumi da esse occupati, basterà descrivere intorno al Sole, come centro, una serie di sfere concentriche i cui volumi stiano fra di loro nelle proporzioni dei numeri dell'ultima tabella qui sopra. Prendendo quindi per unità la distanza delle stelle di grandezza 1,00 si ottengono le seguenti serie:

Grandezze	Distanze	Splendori apparenti dedotti dalle distanze
1,00	1,00	1000
2,00	1,47	463
3,00	2,16	214
4,00	3,17	99
5,00	4,67	46
6,00	6,86	21

Le stelle di 6ª grandezza dovrebbero dunque essere lontane quasi sette volte più che quelle della 1ª: e se la luce intrinseca fosse la medesima, dovrebbe, la luce apparente (calcolata nella terza colonna secondo la legge dell'inversa del quadrato) dare per la 6ª grandezza uno splendore uguale a 21 millesimi, cioè circa $^1/_{47}$ dello splendore delle stelle di prima grandezza. Ma le misure fotometriche del Pickering invece indicano (vedi più sopra) che le stelle di 6ª grandezza non sono che $^1/_{100}$ di quelle di prima quanto a splendore apparente. Pertanto volendo ad ogni modo sostenere l'ipotesi della costante frequenza, bisognerebbe supporre che le stelle più lontane dal Sole siano anche per luce intrinseca minori di quelle più vicine al Sole: in altri termini, che il Sole si trovi in una regione più abbondante di stelle grosse, che gli spazi confinanti.

Ipotesi dello splendore medio costante. — Questa, che fu presa per base da W. Herschel nei suoi calcoli sulle distanze stellari, suppone che in tutte le regioni dello spazio considerato la miscela di stelle piccole e

grandi sia di uguale natura, e che in niuna parte dello spazio prevalgano in modo notabile le stelle di maggior o minore splendore intrinseco. Supposizione, come si vede, direttamente opposta a quella che risulta come conseguenza dell'ipotesi precedente. In questo caso basta partire dalla scala degli splendori apparenti del Pickering, e dedurre da questa le distanze secondo la legge inversa del quadrato, precisamente come se tutte le stelle fossero di uguale splendore assoluto. Soltanto qui le distanze ottenute, invece di corrispondere a *tutte* le stelle dei dati ordini di splendore, rappresentano una specie di media fra le distanze vere, che potranno essere, e sono infatti diversissime, anche per stelle di un medesimo ordine. Prendendo sempre come unità la distanza delle stelle di grandezza 1,00 si ottiene questa serie:

Grandezza	Distanza media	Densità o frequenza
1,00	1,00	1,00
2,00	1,58	0,80
3,00	2,51	0,64
4,00	3,98	0,51
5,00	6,31	0,40
6,00	10,00	0,32

Dunque, in tali ipotesi, le stelle di 6ª grandezza sono 10 volte più distanti di quelle di 1ª. Comparando i volumi occupati dalle stelle dei vari ordini coi numeri delle stelle medesime, si giunge alla conseguenza, che la densità o frequenza delle medesime è maggiore vicino al Sole e minore per gli ordini più distanti; l'ultima colonna dà un'idea del modo di decremento successivo di densità che ha luogo col progressivo allontanarsi dal Sole. Un dato volume di spazio preso vicino al Sole, contiene tre volte più stelle, che nelle regioni occupate dalle stelle di 6ª grandezza e che segnano i confini dove arriva l'occhio nudo.

Nella figura qui presso abbiamo reso sensibile all'occhio la legge di progressione delle distanze medie

delle stelle dei vari ordini nelle due ipotesi considerate. A destra si hanno le sfere corrispondenti ai vari

Fig. 29.

Ipotesi dello splendore medio uniforme.

Ipotesi della frequenza costante.

Sfere esprimenti la progressione delle distanze medie per le stelle dei sei primi ordini di splendore apparente.

ordini nell'ipotesi della frequenza costante: a sinistra le medesime sfere nell'ipotesi dello splendore intrinseco medio costante. In ambedue le costruzioni si parte dalla medesima distanza per le stelle di prima

grandezza. Il Sole deve immaginarsi al centro comune di tutte le sfere. Come si vede, i due risultati, benchè ottenuti in due ipotesi diverse ed escludentisi a vicenda, non differiscono molto fra di loro; ciò dà probabile indizio, che l'uno e l'altro non siano molto lontani dal vero. Per varie ragioni è da ritenersi tuttavia la seconda ipotesi (cioè quella dello splendore medio costante) come più verosimile della prima; essa è certamente meglio confermata dall'analogia di quanto si osserva nelle regioni diverse della sfera stellata, dove dappertutto si nota press'a poco un rapporto costante nei diversi ordini di splendore apparente, mentre la frequenza assoluta (cioè il numero delle stelle visibili in una data estensione della sfera celeste) varia molto da un luogo all'altro.

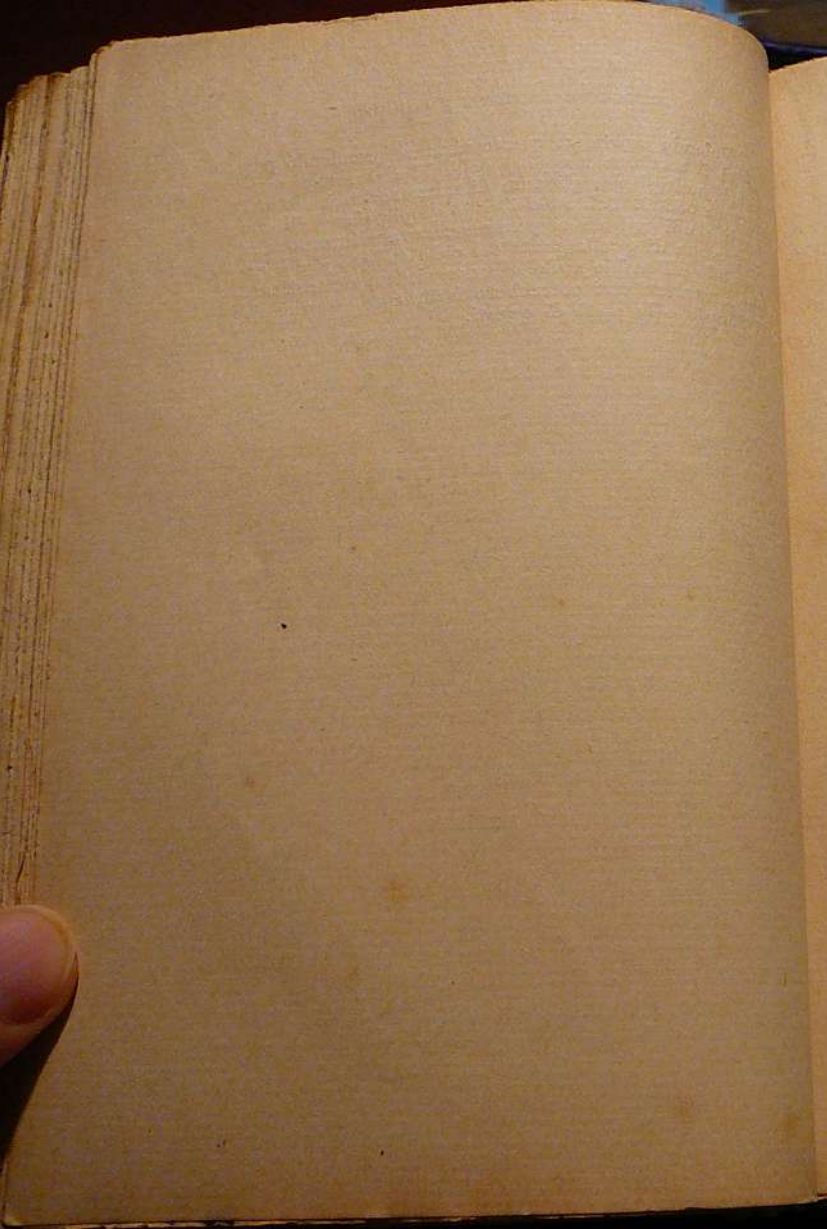
Qualunque del resto fra le due ipotesi si voglia adottare, ambedue conducono all'importante risultato, che la regione del cielo occupata da noi è un centro di maggior condensazione della materia stellare, sia che questa condensazione si manifesti nella maggior dimensione media delle stelle, come risulta dalla prima ipotesi, sia che appaia per una maggior frequenza, come vuole la seconda. In altri termini, *noi facciamo parte di un'agglomerazione speciale di stelle*, rappresentante una piccola porzione di tutto il sistema stellato. Vedremo più tardi confermata questa osservazione partendo da considerazioni di natura affatto diversa.

Noi abbiamo ora coi ragionamenti che precedono (e non senza far qualche parte alle congetture) ottenuto un'idea, che possiamo credere sufficientemente approssimata, delle distanze *relative* delle stelle visibili all'occhio nudo, supposte ordinate secondo il loro splendore apparente: e nella scala di queste distanze s'è presa come unità provvisoria la distanza media delle stelle di prima grandezza. Qui adunque, come già nel sistema solare, la stima delle dimensioni dipende da un modulo fondamentale, e la questione più

importante diventa la determinazione della lunghezza assoluta di questo modulo. A questa operazione hanno rivolto i loro sforzi gli astronomi del Capo di Buona Speranza e di Newhaven, i quali, come già si è detto, con questo speciale intento, hanno intrapreso la misura della parallasse di tutte le stelle di 1ª grandezza e di un certo numero delle stelle di 2ª. Presentemente non si hanno sulla lunghezza fondamentale in questione, che idee molto vaghe. Molti anni sono Peters, dalle pochissime ed incertissime parallassi conosciute al suo tempo (1846) aveva dedotto, che la parallasse media delle stelle di 1ª grandezza potesse stimarsi a 0",209, ciò che corrisponde alla distanza percorsa dalla luce in 15 anni e mezzo. Recentemente il prof. Gyldén (1) ha trattato lo stesso problema valendosi di 16 parallassi, e si è ingegnato di tener conto in qualche modo della circostanza, che le stelle scelte finora dagli astronomi per misure di parallasse sono per lo più stelle di vicinanza eccezionale. Gyldén trova 0",084, corrispondente alla distanza che la luce percorre in trentotto anni e tre quarti. Adotteremo questo numero come più probabile del primo, benchè ancora estremamente incerto: e così otterremo espresse in anni di percorso luminoso le distanze medie delle stelle dei sei primi ordini di grandezza, quali risultano nelle due ipotesi più sopra discusse.

Ordine di grandezza (scala di Pickering)	Distanza media in anni di percorso luminoso Ipotesi 1.ª	Ipotesi 2.ª
1,00	38,7	38,7
2,00	57,0	61,4
3,00	83,7	97,3
4,00	123,0	154,3
5,00	180,8	244,5
6,00	265,8	387,5

(1) *Ueber die mittlere Parallaxe der Fixsterne erster Grösse*, 1877, Giornale trimestrale della Società Astronomica di Lipsia, vol. XII.

Volendo esprimere queste distanze prendendo per unità il semiasse maggiore dell'orbita terrestre, converrà moltiplicare gli anni di percorso luminoso pel fattore 63369. Tali sono i risultati più plausibili che dagli studi recenti si possono ricavare intorno alla estensione di quella parte del cielo stellato che è accessibile all'occhio nudo. Ma non si deve dimenticare, che i risultati *veri* potrebbero facilmente essere anche il doppio o la metà di questi.

XIII.

GLI ABITANTI DI ALTRI MONDI

Dalla *Strenna popolare per l'anno 1889* a beneficio dei vecchi operai tipografi milanesi — Milano, Pio Istituto Tipografico.

Dopo che fu provato per opera di Copernico e di Galileo, che la Terra non occupa nell'Universo alcuna posizione privilegiata, ma è semplicemente uno dei molti pianeti del sistema solare; fra gli studiosi delle cose celesti incominciò ad essere agitata la questione della natura dei corpi planetari, fino allora considerati dai più come incorruttibili, immutabili ed eterni, e dei quali uno, cioè la Terra, ora si sapeva non essere nè incorruttibile, nè immutabile, e probabilmente anche non eterna. La naturale analogia doveva far supporre che astri della stessa specie potessero aver comuni molte proprietà e differir fra loro solo nelle cose particolari, non nei caratteri generali: e i progressi fatti dopo quel tempo nella fisica celeste hanno piuttosto confermato, che contraddetto questo modo di vedere. Ma fra tutte le disputazioni riferentisi a questo argomento, nessuna ebbe tanta celebrità ed eccitò fra gli uomini tanto interesse, quanto quella dei supposti abitanti dei mondi planetari, e nessuna più di questa ha esercitato le speculazioni dei filosofi e dato origine a bizzarre fantasie di letterati.

Molti sono d'opinione che soltanto dall'astronomia e dal progressivo perfezionamento degli strumenti ottici si possa attendere una decisiva e convincente soluzione del problema; io temo però che costoro si facciano della potenza dei nostri telescopi un concetto molto esagerato. Il cannocchiale più perfetto che abbia usato Galileo, ingrandiva le dimensioni lineari degli oggetti non più di trenta volte. Da quel tempo l'arte

di lavorar le lenti ha certamente molto progredito, e si è imparato anche a combinarle insieme in un modo più utile; tuttavia non esiste oggi al mondo telescopio così perfetto, che ad esso si possa applicare con vantaggio un'amplificazione di più che mille volte. Con un tale istrumento si potrebbe, stando a Milano, vedere una persona sulla cupola del Vaticano (distante circa 500 chilometri in linea retta) colla medesima distinzione, con cui ad occhio nudo si vedrebbe la stessa persona alla distanza di 500 metri, dato che alla vista fra Milano e Roma non opponessero insuperabile ostacolo la convessità della Terra e l'imperfetta trasparenza dell'atmosfera.

Ma la Luna, che fra tutti i corpi celesti è di gran lunga il più prossimo a noi, è ancora distante 764 volte 500 chilometri. Dovrebbe perciò un abitante lunare, perchè potessimo in qualche modo riconoscerne la figura, aver una statura 764 volte maggiore della nostra. Tuttavia, se non gli abitanti stessi, almeno i loro lavori e le loro costruzioni e coltivazioni potrebbero esser sufficientemente grandi per esser da noi vedute. Una città lunare ampia come Milano sarebbe certamente visibile; così pure una strada o un canale largo 200 o 300 metri, quando il suo colore facesse contrasto abbastanza vivo col fondo circostante. Così pure dovrebbero presentarsi come un tappeto finamente variegato i colori diversi dei nostri campi coltivati con diversi vegetali. Ma di tuttociò nulla finora è stato veduto, e non vi ha molta speranza che si possa vedere più tardi; perchè il difetto totale (o quasi totale) di liquidi e di atmosfera sulla superfice lunare rende poco verisimile che colà esistano esseri organizzati comparabili a quelli che vivono sulla Terra. La impressione che fa la Luna anche nei grandi telescopi è sempre quella di un arido deserto di sassi.

Tale difficoltà non esisterebbe pei pianeti a noi più vicini, Venere e Marte, dei quali si può affermare con certezza, essere avviluppati da un'atmosfera suf-

ficientemente densa. Anzi tanto è densa l'atmosfera di Venere, e tanto opaca, che rarissimamente ci permette di veder qualche parte della superfice del pianeta. Sarebbe questo già un invincibile ostacolo, quand'anche Venere fosse meno distante. Ma anche nella massima vicinanza essa rimane sempre discosta da noi 110 volte più che la Luna.

L'atmosfera di Marte invece è per lo più assai trasparente, e i particolari della sua superfice, che sembra variata di mari, di continenti, d'isole, di stretti e di ghiacci polari, si possono esaminare senza impedimento; notiamo però, che Marte non è mai lontano dalla Terra meno di 150 volte la distanza della Luna. Non è da sperare dunque, che si possa vederne gli abitanti, dato che vi siano. L'esperienza però dimostra, potersi in Marte riconoscere agevolmente isole come la Corsica, stretti come la Manica, lingue di terra come la Jutlandia e Cuba, o l'istmo di Panama. Tali sono pure le dimensioni che dovrebbero avere i lavori degli abitanti di Marte perchè potessero rendersi visibili a noi. Esseri intelligenti potrebbero dunque rivelarci la loro esistenza per mezzo di inondazioni artificiali molto più vaste delle nostre risaie, e per mezzo di regolari avvicendamenti di colture agricole producenti variazioni di colore sopra grandissimi spazi. Sono cose possibili, ma finora nulla si è osservato che ci permetta di supporle reali.

Molti negano addirittura la possibilità che esistano nell'Universo esseri intelligenti, od anche solo animati, altrove che sulla Terra. Il celebre geografo Carlo Ritter soleva cominciare il suo corso di geografia all'università di Berlino, col dimostrare, che fra tutti i pianeti la Terra soltanto ha le condizioni necessarie per lo sviluppo della vita organica. È vero tuttavia, che poco dopo ci passava a dimostrare che di tutte le regioni del globo, la Germania settentrionale è la più propria allo sviluppo di nobili e perfette qualità nella razza umana. Nell'un caso e nell'altro i suoi argomenti avevano press'a poco lo stesso peso.

Altri han voluto decidere la cosa con argomenti tratti dalla teologia naturale, ed altri ancora hanno tentato di dimostrare che la ipotesi della pluralità dei mondi abitati è contraria alle credenze cristiane. Nel che, a parer mio, han dato prova di zelo cieco e di poca prudenza: infatti non s'è mai veduto che questa smania d'introdurre il dogma nelle discussioni scientifiche abbia dato qualche vantaggio per la religione o per la scienza. L'uomo veramente religioso non farà mai dipender la sua fede, e tanto meno la sua morale, dalla verità del sistema di Copernico, o dalla teoria di Darwin sulla trasmutazione della specie, o dall'essere stato o non stato Mosè autore del Pentateuco. Posso addurre nel caso presente l'altissima autorità di quel pio religioso e valente astronomo, che fu il Padre Secchi; il quale non aveva nessuna difficoltà ad ammettere come possibile, anzi come probabile, l'esistenza di esseri animati ed intelligenti in tutto l'universo. Ecco quanto egli scrisse su tale proposito negli ultimi anni di sua vita:

« .... il creato che contempla l'astronomo, non è un semplice ammasso di materia luminosa: è un prodigioso organismo, in cui dove cessa l'incandescenza della materia incomincia la vita. Benchè questa non sia penetrabile ai suoi telescopi, tuttavia, dall'analogia del nostro globo, possiamo argomentarne la generale esistenza negli altri. La costituzione atmosferica degli altri pianeti, che in alcuni è cotanto simile alla nostra, e la struttura e composizione delle stelle simile a quella del nostro Sole, ci persuadono che essi o sono in uno stadio simile al presente del nostro sistema, o percorrono taluno di quei periodi che esso già percorse, o è destinato a percorrere.

Dall'immensa varietà delle creature che furono già e che sono sul nostro, possiamo argomentare la diversità di quelle che possono esistere colà. Se da noi l'aria, l'acqua e la terra sono popolate da tante varietà di esse, che si cambiarono le tante volte al

mutare delle semplici circostanze di clima e di mezzo, quante più se ne devono trovare in quegli sterminati sistemi!...

La vita empie l'universo, e colla vita va associata l'intelligenza, e come abbondano gli esseri a noi inferiori, così possono, in altre condizioni esisterne di quelli immensamente più capaci di noi. Fra il debole lume di questo raggio divino che rifulge nel nostro fragile composto, mercè del quale potemmo pur conoscere tante meraviglie e la sapienza dell'autore di tutte le cose è un'infinita distanza che può essere intercalata da gradi infiniti delle sue creature, per le quali i teoremi, che per noi sono frutto di ardui studi, potrebbero essere semplici intuizioni». (*Lezioni di Fisica terrestre*, p. 214-216).

In questo breve passo del Secchi sta compendiato quanto di più probabile può suggerire sul presente argomento la riflessione di una mente filosofica. E niente di meglio noi sapremmo aggiungere, quando anche già non avessimo oltrepassato i limiti imposti a questo breve scritto.

XIV.

IL MOVIMENTO DEI POLI DI ROTAZIONE SULLA SUPERFICE DEL GLOBO

Discorso letto il 30 agosto 1882 nel Teatro Sociale di Biella al XV Congresso degli Alpinisti Italiani; pubblicato nel *Bollettino del Club Alpino Italiano* per l'anno 1882 — Torino 1883.

Onorevoli Signori,

1. — Alcun tempo fa io stava meco pensando quale materia avrei scelto come argomento della lettura che, invitato dal nostro presidente, ho promesso di fare in questa assemblea: quando a decidermi venne fra le mie mani una memoria del prof. Fergola sulla latitudine dell'osservatorio di Napoli (1). In tale scritto quel dotto astronomo, comparando il valore delle latitudini determinate recentemente in alcune specole d'Europa, e d'Italia specialmente, col valore delle medesime latitudini trovato da astronomi anteriori, arriva ad enunciare il sospetto che tutte quelle latitudini sian venute diminuendo lentamente negli ultimi tempi; in altri termini, che la distanza dei paesi d'Europa dal polo artico — cioè da quel punto della superfice terrestre ove sta il termine a noi più vicino dell'asse di rotazione del globo — che quelle distanze, dico, siano cresciute di una piccola quantità. A tale conclusione, pure è stato condotto il sig. Nyrén, astronomo del grande osservatorio di Pulkova, discutendo le osservazioni di latitudine, che con istrumenti d'insuperata perfezione e con diligenza non facile ad imitare sono state eseguite colà a partire

(1) *Determinazione novella della latitudine del R. Osservatorio di Capodimonte.* — Napoli, 1873. — Atti dell'accademia di Scienze fisiche e matematiche di Napoli, vol. 5.

dall'anno 1842 (1). La stessa cosa risulterebbe pure dalle osservazioni fatte a Königsberg dal celeberrimo Bessel. Questa diminuzione delle latitudini, a dir vero, non sarebbe che di lieve importanza, tanto piccola, che appena emerge con sufficiente probabilità dagli inevitabili errori delle osservazioni; nondimeno l'accordo che presentano i risultati ottenuti nei diversi luoghi è tale, da non potersi facilmente ascrivere al caso. Prendendo un medio fra tutti, e dando naturalmente autorità maggiore alle osservazioni più precise e a quelle che comprendono fra loro maggior intervallo d'anni, sembra si possa concludere che la diminuzione delle latitudini sia stata nell'ultimo secolo da un secondo a un secondo e mezzo, cioè che la nostra distanza dal polo artico in cento anni siasi aumentata di qualche cosa come 30 o 40 metri, e d'altrettanto sia diminuita la nostra distanza dall'equatore.

2. — Esaminiamo bene la portata e le possibili conseguenze di questo fatto. Poichè la distanza del polo artico della Terra dai nostri osservatorii è cresciuta, e poichè non è supponibile che i detti osservatorii e con essi l'Europa tutta abbia scivolato sulla superfice della Terra (2), bisognerà concludere, che il polo medesimo si è mosso, allontanandosi da noi in ragione di 30 o 40 metri per secolo: che quindi i poli della Terra possono muoversi da un punto al-

(1) *Die Polhöhe von Pulkowa.* — Pietroburgo, 1873. — Mém. de l'Acad. de St. Petersbourg, 7e série, tome XIX.

(2) Si potrebbe evitare questa conseguenza, ammettendo la possibilità che le attrazioni locali abbiano cambiato in tutta l'Europa la direzione della verticale. Ma è stato detto giustamente a questo riguardo, che spostamenti di masse terrestri capaci di alterar tanto la verticale sopra una così grande regione, dovrebbero avere per necessaria conseguenza sensibili mutazioni anche nella posizione del polo terrestre. V. Nyrén, Memoria citata, e Gyldén, *Ueber den Einfluss, welchen Aenderungen der Rotationsaxe innerhalb des Erdkörpers auf das Meeresniveau ausüben können.* — Bulletin de l'Acad. de St. Petersb., t. XVI, p. 52.

l'altro della sua superfice, e che l'asse stesso della Terra si va spostando nell'interno della gran mole. Per comprendere fin dove possono estendersi le conseguenze di una simile variazione, supponiamo che il moto indicato continui sempre colla stessa velocità nella medesima direzione; e per evitare qualunque esagerazione mettiamo che esso sia soltanto di 30 metri in un secolo. A questa ragione di computo, rimontando indietro nel corso dei tempi a dieci milioni d'anni fa — epoca che i geologi sogliono considerare come assai recente — si trova che il polo artico avrebbe dovuto essere 3000 chilometri più vicino a noi, dove adesso, per esempio, sta Stoccolma o Cristiania: il clima italiano avrebbe potuto essere qualche cosa come quello dello Spitzberg o della Nuova Zembla. Progredendo invece nel futuro altri dieci milioni d'anni, il polo si sarà allontanato da noi 3000 chilometri più che adesso, e l'equatore, avvicinandosi d'altrettanto, passerà sul Cairo e su Tripoli, noi avremo il clima del Senegal e del Bornù.

3. — Vi ha altro ancora. Come tutti sanno, il nostro globo non è una palla perfetta. Se dal punto centrale si conducono due linee, una al polo, l'altra all'equatore, l'una e l'altra terminata al livello del mare, quella che va al polo sarà più corta che l'altra di 21 chilometri. Da Biella, che si trova quasi a metà strada fra il polo e l'equatore, conducendo una simile linea al centro, questa avrà una lunghezza quasi media fra le due sopradette. Biella dista dal centro della Terra 10 chilometri più che il polo e 10 chilometri di meno che un punto dell'equatore. Questa forma schiacciata della Terra dipende principalmente dalla sua rotazione; dovunque vada il polo, ivi le acque del mare tenderanno ad abbassarsi, e dovunque si trasporti l'equatore, ivi tenderanno a gonfiarsi per effetto della forza centrifuga sviluppata dal moto rotatorio, che all'equatore è massima. A misura dunque, che allontanandosi da noi il polo, si avvici-

nerà l'equatore, la superfice di livello dei nostri mari, per corrispondere alla posizione di ambedue, si andrà sollevando gradatamente; e possiamo anche dir di quanto. Dato che l'equatore si avvicini di 30 metri in un secolo, nell'uguale intervallo il mare di Genova dovrà sollevarsi di cinque centimetri o qualche cosa di più; ciò che fa cinque metri o poco più in cento secoli, quanti non ne abbraccia la storia positiva degli uomini (1), e un po' meno d'un metro dal tempo dei Romani fino al presente. Più tardi l'accrescimento diventerà anche un poco più lento; nondimeno in capo ai dieci milioni d'anni, che abbiamo detto, quando l'equatore passerà al Cairo ed a Tripoli, il mare si sarà gonfiato di quasi cinque mila metri. Se la Terra, come alcuni credono, è affatto dura e rigida, essa non gonfierà la sua superfice solida e l'Italia rimarrà sepolta a cinque mila metri di profondità sotto l'oceano tropicale di quel tempo avvenire. Ma se ammettiamo, come altri pensano, che la Terra nel suo interno sia, se non liquida, almeno dotata di un grado sufficiente di plasticità e di cedevolezza, gonfiandosi il mare sotto l'influsso del cambiato asse di rotazione, si gonfierà d'altrettanto anch'essa, noi saliremo parecchi chilometri (2), nulla sarà cambiato nel livello relativo delle nostre regioni e dei mari circostanti. Che se la Terra non fosse nè perfettamente cedevole, nè assolutamente rigida, si avrebbe sempre per risultato un'elevazione più o meno considerevole del mare intorno e sopra la nostra regione. Effetti uguali succederanno ai nostri antipodi, presso la Nuova Zelanda; effetti contrari invece — depressione del mare ed emersione apparente di terre — si noteranno nei luoghi che hanno con noi uguale la longitudine, ma opposta la latitudine, come al Capo di Buona Spe-

(1) I calcoli che servon di base a questi risultati si trovano nella memoria qui sopra citata del Prof. Gyldén, *Bull. Pétersb.*, t. XVI.

(2) In questo caso non più cinque, ma nove chilometri.

ranza; ed anche nei luoghi che hanno con noi uguale la latitudine ma opposta la longitudine, come le Isole Sandwich.

4. — Voi direte che questo è un romanzo scientifico, nulla provando che il movimento dei poli terrestri abbia da continuare per sì lungo tempo come 10 milioni d'anni senza cambiamento di velocità e di direzione. Nè io pretendo già, che le cose abbiano a succedere appunto nel modo che ho detto; solo ho inteso di far vedere, come anche nella presente questione l'accumulazione di piccoli ed appena misurabili effetti possa col tempo giungere a produrre risultati di molta importanza. Ma vi è un'altra idea, inclusa nei ragionamenti precedenti, sulla quale desidero fissare la vostra attenzione. Lasciamo stare i milioni d'anni e limitiamoci pure ad un periodo di tempo, sul quale possa estendersi l'osservazione degli uomini. Io ho detto, che se la Terra fosse assolutamente rigida, e resistesse alle deformazioni che in essa tende a produrre la forza centrifuga per effetto del movimento dell'asse, ogni aumento di trenta metri nella distanza del polo artico da noi deve avere per necessaria ed inseparabile conseguenza un alzamento di circa cinque centimetri nel livello medio del nostro mare: che un alzamento uguale deve prodursi ai nostri antipodi: un abbassamento invece di quantità quasi identica al Capo di Buona Speranza ed alle Isole Sandwich. Ed in generale si può fissare col calcolo in modo preciso per ogni punto del globo la quantità di cui deve variare il livello dell'Oceano relativamente alle terre, in conseguenza dello spostarsi del polo. Se ora immaginiamo combinato sopra le diverse regioni della Terra un ben ordinato e continuo sistema di osservazioni astronomiche per la determinazione delle latitudini d'un certo numero di punti, e contemporaneamente un altro sistema anche più universale ed ugualmente continuato di osservazioni del livello medio del mare, sarà facile di constatare se insieme

alle variazioni di posizione del polo terrestre avranno luogo anche nel livello dell'Oceano variazioni secondo la legge e la proporzione che la teoria precedente richiede nell'ipotesi della Terra assolutamente o quasi assolutamente rigida. Si avrà così nelle mani un criterio infallibile per giudicare se questa rigidezza ha luogo veramente in natura, e per venire in chiaro della cosa non occorrerà molto tempo. Alcuni decenni di osservazioni ben coscienziose ed esatte, praticate con metodo uniforme e costante, basteranno all'intento malgrado le difficoltà che in questo od in quel luogo non mancheranno di opporre i sollevamenti e le depressioni accidentali del suolo, dovuti a causa di natura più locale che non sia il fenomeno di cui andiamo discorrendo (1).

5. — Aspettando dunque che i posteri, meno occupati di noi ad ammazzarsi e a nuocersi reciprocamente, facciano tutto quello che occorre per giungere alla risoluzione di sì grandioso problema, vediamo frattanto se su questo movimento dei poli alla superficie della terra, sulla sua natura e probabili cause sia possibile saper anche adesso qualche cosa. Si potrebbe da principio credere, che esista una qualche connessione del fatto che ci occupa col fenomeno della precessione degli equinozi. Una intiera lettura sarebbe necessaria per dare un esatto concetto di questa precessione, che è una delle più eleganti manifestazioni della geometria cosmica. All'intento presente

(1) Invece di rimettere la questione ad operazioni da farsi in un avvenire più o meno lontano si potrebbe anche cercare di trarre partito dai documenti esistenti. Se, per esempio, la diminuzione attuale delle latitudini fosse progressiva, e si potesse supporre ch'essa sia stata uniforme pel corso degli ultimi 20 o 25 secoli, si potrebbe forse con qualche frutto esaminare se veramente il livello del Mediterraneo si è alzato di circa un metro durante quell'intervallo. Ignoro se l'esame degli antichi dati topografici e delle antiche costruzioni litorali sia già stato eseguito con intento di esplorare la costanza del livello del mare ; ad ogni modo sembra che non sarebbe un lavoro affatto inutile, anche per l'esame d'altri problemi.

basti il dire, che il Sole e la Luna, esercitando la loro attrazione sul rigonfiamento equatoriale del nostro globo, lo costringono a cambiare lentamente la direzione del suo asse di rotazione nello spazio. Questo asse dunque, il quale oggi prolungato verso la sfera celeste, accenna ad una data stella, di qui ad un anno o cento o mille anni non sarà più diretto verso quella, ma verso qualche altra. Tutto questo però nulla ha che fare colle latitudini. Infatti esaminando bene la natura della precessione si trova, che se per cagion sua l'asse terrestre si muove cambiando di direzione nello spazio, tutta la Terra si muove con lui, come se quell'asse fosse una verga materiale, a cui la Terra fosse saldamente infilzata. Egli è come, se prendendo un globo di quelli che servono allo studio della geografia, lo si volgesse in varie direzioni, in modo, per esempio, da collocare l'asse in una positura orizzontale, poi inclinata, poi verticale. Per questi movimenti nulla si cambia delle distanze fra i poli di esso globo ed uno qualunque dei piccoli cerchietti che segnano le diverse città. Teniamo pertanto come stabilito che nella precessione i poli corrispondono sempre ai medesimi punti della superfice terrestre, e che le latitudini delle nostre città nulla hanno a temere dall'influsso dei due luminari. Quanto agli altri corpi celesti, essi sono troppo lontani, e la loro attrazione è troppo debole per venir qui in conto: e quand'anche ciò non fosse, la loro influenza sulla Terra non potrebbe essere che una specie di precessione.

6. — Noi siamo dunque assolutamente costretti a scendere dal cielo in terra per trovare, se è possibile, una causa dei fatti che stiamo studiando: e qui si presenta subito alla mente d'indagare, se per avventura la mancanza di simmetria e di regolarità nella figura della Terra non valesse a disturbarne sensibilmente la rotazione. Se la Terra fosse tutta ben fornita, tutta esattamente simmetrica intorno al proprio asse, tanto rispetto alla forma esteriore, quanto

in riguardo alla densità dei materiali di cui è composta, niun dubbio che la sua rotazione intorno a quell'asse dovrebbe durare in perpetuo o almeno fino a che non si manifesti l'azione perturbatrice di qualche causa esterna. Noi siamo però ben lontani da tale simmetria: senza parlare delle montagne e degli altipiani, che sono accidenti di estensione relativamente non grande, vediamo le masse dei continenti — che sono composti di materia circa tre volte più densa delle acque del mare — distribuite in un modo affatto disuguale intorno all'asse rotatorio, e senza alcuna regola apparente nella loro collocazione. Si aggiungano le ineguaglianze della densità interiore, dimostrate dalle operazioni geodetiche e dalle osservazioni del pendolo. In un solido così irregolarmente costrutto non si può neppur dire, che vi sia un asse di simmetria, il quale possa definire con qualche precisione geometrica due poli sulla sua superfice. Così stando le cose, alcuno potrebbe forse trovare affatto naturale, che i poli e l'asse vadano errando qua e là, prendendo diverse posizioni quasi per caso, come i poli e l'asse di una trottola ubbriaca non lavorata al tornio. Eppure andrebbe errato chi così la pensasse: in questioni di movimento non è la simmetria delle forme geometriche quella che più importa, ma bensì la simmetria degli effetti dinamici. Perchè una bilancia stia in equilibrio non è già necessario che i piatti ed i pesi siano di forma e di grandezza uguale, basta che il tutto importi d'ambo le parti un numero uguale di chilogrammi. Soddisfatta questa unica condizione, essa forma un sistema staticamente simmetrico, sebbene possa esser geometricamente molto irregolare.

Ora si può dimostrare, che in ogni corpo di forma determinata ed invariabile, sia pur bizzarra e complicata quanto si vuole, esiste sempre un asse di simmetria dinamica così fatto, che postosi una volta il corpo a girare intorno ad esso, girerà intorno ad esso perpetuamente, ove non s'oppongano resistenze od

altri disturbi. In meccanica si suol chiamare l'asse principale di stabile rotazione. Ora la Terra — contando anche l'acqua e l'atmosfera come parte integrante della medesima — ha pur essa un tale asse principale; ed osservazioni astronomiche di carattere delicatissimo (1) condurrebbero a credere, che se questo non coincide coll'asse di rotazione diurna, la differenza tuttavia è talmente piccola, da eludere tutte le più raffinate ricerche e le più delicate misure.

7. — La questione della variabilità dell'asse terrestre parrebbe risoluta da questa coincidenza: poichè la Terra gira adesso intorno al suo asse di stabile rotazione, girerà intorno al medesimo per tutti i secoli avvenire, e sarà impossibile uno spostamento dei poli alla superfice. Così sarebbe da credere infatti, se la Terra fosse un corpo di struttura rigida e di figura invariabile; ma quanto siamo lontani da questa assoluta rigidezza ed invariabilità! Ogni movimento di materia, sia pur piccolo, che succede alla superfice o nell'interno, è un cambiamento di figura, e quindi un cambiamento dell'asse principale della Terra. Ogni uomo che cammina, ogni battello che naviga, ogni casa che si costruisce scuote di una piccola quantità il cardine massimo dalla sua posizione: ed è stato calcolato anche di quanto abbia potuto spostarsi in conseguenza dello zucchero, del caffè, del cotone e di altre merci, che dall'America e dalle Indie Orientali ogni anno in tanta copia affluiscono in Europa. Tutte le variazioni causate da questi e altri analoghi movimenti di masse, sono impercettibili a cagione dell'estrema piccolezza di tali masse in confronto della gran mole della Terra. Di qualche maggior momento possono essere le variazioni prodotte dai

(1) V. la Memoria citata di Nyrén; inoltre il discorso fatto da Sir W. Thomson alla Sezione fisico-matematica dell'Associazione Britannica per l'avanzamento delle Scienze, riunione di Glasgow, 1876. — *Rep. of the Brit. Assoc.*, 1876.

movimenti dell'Oceano e dell'atmosfera, dalle piogge e dalle inondazioni, dalla formazione e scioglimento dei ghiacci polari; l'effetto tuttavia sembra esser anche qui abbastanza piccolo per sottrarsi ad ogni indagine. Ma lo stesso non si potrà dire circa l'effetto delle grandiose mutazioni, che la Terra subisce sotto l'azione lenta ma prolungata delle forze che ne sconvolgono e ne modellano gli strati superficiali. Le erosioni delle acque, le formazioni dei sedimenti e dei banchi calcari, le eruzioni vulcaniche e quei prodigiosi moti d'alto e basso che hanno alternatamente sommerso e fatto comparire alla luce del Sole vastissimi continenti; tutte queste operazioni hanno messo e mettono ancora adesso in movimento masse così sterminate, hanno impresso ed imprimono alla Terra variazioni di forma così sensibili, che l'idea di derivarne un movimento apprezzabile nella posizione dell'asse principale del globo merita certamente di essere considerata.

8. — Cominciamo ad esaminare l'effetto dei sollevamenti; e per fissare le idee sopra un caso concreto, cerchiamo di quanto ha potuto cambiarsi l'asse principale della Terra pel sollevamento dell'altipiano centrale dell'Asia, che si estende dalla Bucaria alla China fra la pianura del Gange e il deserto di Gobi, e forma una delle più interessanti protuberanze del globo. Per brevità di discorso io lo designerò semplicemente col nome di Pamir, sebbene la regione di Pamir ne costituisca soltanto la parte più massiccia e più occidentale. L'area da questo altipiano occupata si può calcolare, stando a stime assai moderate, a 360.000 miglia italiane quadrate (1) e la sua elevazione in media a due miglia, che sono 3700 metri. Dopo il sollevamento, lo spazio prima occupato dalla massa emersa non è rimasto vuoto, ma dovette esser riempito da un volume equivalente di materia venuta da regioni più profonde, sollevata anch'essa da un gonfia-

(1) 1 miglio italiano = 1 minuto di grado = 1852 metri.

mento delle regioni sottostanti. Ad evitare ogni esagerazione io supporrò che gli strati così cresciuti di volume siano limitati ad una profondità di 20 miglia, cioè che una colonna di 20 miglia di profondità, gonfiando di volume per effetto del calore interno o di combinazioni chimiche, abbia cresciuto di 2 miglia la sua altezza, facendo emergere d'altrettanto la sua parte superiore, che prima ammettiamo fosse al livello del suolo circostante. Porremo inoltre, che la densità della massa dilatata e sollevata sia la metà della densità media della Terra, ciò che non può esser lontano dal vero. Fatte queste premesse, un calcolo su cui non può cader dubbio subito ci farà sapere, che qualunque sia il tempo impiegato a formarla, quell'escrescenza farà allontanare da sè il polo artico principale di 12 metri e non più, avanzandolo lungo il meridiano opposto, che è quello del Messico. Non è molto, come si vede; potrebbe però essere di più, se si considerasse il sollevamento di un intiero continente dal fondo dell'Oceano. Nondimeno, anche facendo riguardo ai sollevamenti le ipotesi più generose, non sarà facile ottenere da essi uno spostamento del polo principale, che superi alcune centinaia di metri.

9. — Risultati di assai maggiore importanza produce la denudazione della terraferma, e la conseguente formazione di sedimenti in fondo al mare. Poniamo, che in qualche milione d'anni i quattro gran fiumi che dall'altipiano asiatico scendono all'Oceano verso mezzodì, cioè l'Indo, il Gange, il Brahmaputra ed il Mekong, abbiano raso al suolo quell'altipiano e portatolo a formare materia di nuove terre sotto l'equatore in fondo all'Oceano Indiano: questa operazione, finito ogni calcolo, avrà per conseguenza di far discendere giù il polo principale artico lungo il meridiano di Benares, avvicinandolo al continente asiatico di metri 1950 o di più che un miglio. Eppure una tale sedimentazione non sembrerà nulla di straordinario in confronto del volume che si attribuisce a

certe stratificazioni delle più antiche epoche della Terra. Sebbene anche questo risultato forse riesca inferiore all'aspettazione, tuttavia paragonandolo con 12 metri che sopra abbiam trovato come effetto del sollevamento dell'altipiano asiatico, si vedrà ciò, di cui del resto l'analisi geometrica del problema rende agevolmente ragione, che le denudazioni e i trasporti orizzontali operati dai fiumi e le conseguenti sedimentazioni hanno per muovere i poli principali della Terra un effetto molte volte più grande che quello dei sollevamenti, comprese in essi, se si vuole, anche le eruzioni vulcaniche. Anzi è questa delle denudazioni e sedimentazioni la sola causa a cui si possa attribuire qualche importanza nella quistione che stiamo esaminando. E se ora riflettiamo quanto numerosi e vari e ripetuti sono stati i casi di erosione e di stratificazione, quanto straordinaria la grossezza dei sedimenti deposti or qua or là con vece alterna durante la lunga storia del nostro pianeta, troveremo non contrario alla verità il dire, che per questa sola causa l'asse principale del globo ha dovuto trovarsi e forse ancor si trova in un continuo stato di oscillazione or verso una parte or verso un'altra; come queste cause talvolta sommandosi e preponderando in una direzione hanno potuto allontanarlo di parecchie miglia o forse di qualche grado dalla posizione prima occupata, tal'altra compensandosi, riavvicinarlo ad essa, sempre però per vie infinitamente tortuose ed irregolari. I due matematici inglesi che recentemente più si sono occupati di questa materia, cioè Sir W. Thomson e Giorgio Darwin sono d'opinione, che in questo modo l'asse principale della Terra abbia potuto spostarsi anche di parecchi gradi, e il polo principale percorrere anche qualche centinaio di miglia sulla superfice di essa (1). Anzi il signor Darwin ha ricercato qual'è il

(1) G. H. DARWIN, *On the influence of geological changes on the Earth's Axis of Rotation.* — Phil. Trans. vol. 167, part. I, p. 297 e 304. W. Thomson nel suo discorso citato qui sopra.

modo di trasposizione di una data massa alla superfice terrestre, che produrrebbe il massimo spostamento possibile del polo, scavando in certi luoghi e riempiendo in altri: ed ha trovato, che senza dare agli scavamenti ed ai terrapieni più di 10.000 piedi (3000 metri) di grossezza si potrebbe artificialmente ottenere nel polo principale uno spostamento di quasi 500 miglia. Questo modo descritto da Darwin non è da credere tuttavia che mai possa accostarsi alla natura delle cose, serve però ad indicare un limite, al quale non è probabile che possano arrivare i viaggi del polo principale della Terra, almeno fintantochè non si prendano in considerazione altri elementi del problema.

10. — Ma ciò che a noi importa sapere, non è tanto lo spostamento dell'asse principale, quanto quello dell'asse vero di rotazione e del polo geografico corrispondente, il quale è quello che determina a noi la latitudine ed il clima, e forse anche in qualche parte il livello dei mari circostanti. Egli è certo, che se quest'asse di rotazione non avesse a subire cambiamenti maggiori di quelli che abbiamo stimato probabili per l'asse principale, cioè di qualche miglio o decina di miglia, mettiamo pur anche di 100 o di 200, la cosa non pare dovrebbe esser di molta conseguenza pratica per noi, nè di grande interesse nelle disquisizioni sulla storia geologica della Terra; ed io non avrei osato annoiarvi con tanti calcoli e ragionamenti per giungere a così piccolo risultato. Ma se rispetto all'asse principale tutti i geometri possono e devono andare d'accordo, lo stesso non avviene più quando si tratti dell'asse di rotazione: infatti rispetto a quest'ultimo la ricerca del suo movimento richiede che si parta da qualche supposizione circa lo stato di maggiore o minore fluidità del globo terrestre nel suo interno. E siccome a questo riguardo si possono avere differentissime opinioni, così possono nascere diversi modi di vedere sui movimenti probabili dell'asse rotatorio del globo. Se con alcuni supponiamo la Terra asso-

lutamente rigida, essa non cambierà di forma, qualunque sia quel suo diametro, intorno a cui si pone a ruotare: nascerà soltanto uno squilibrio delle acque e dell'atmosfera, la cui massa è relativamente piccola. Se invece ammettiamo nella massa terrestre un certo grado di fluidità, essa si deformerà per prendere intorno all'asse di rotazione la figura conveniente all'equilibrio dei fluidi rotanti, e cambiandosi in moto continuato quest'asse, la sua figura sarà perpetuamente variabile. Uno stato di cose intermedio avrà luogo, se supponiamo la Terra nè interamente rigida, nè tanto liquida o pastosa da cedere immediatamente all'azione delle forze che tendono a deformarla. Tutte e tre queste opinioni, della rigidità grande o poco meno che perfetta, della fluidità più o meno completa, e di una pastosità limitata che cede soltanto a forze superiori ad un limite determinato, contano oggidì i loro aderenti, e si potrebbero citare in favore di tutte e tre le autorità di nomi illustri. Noi, senza decidere fin da principio in favore dell'uno o dell'altro partito, esamineremo imparzialmente quali sono gli effetti che le mutazioni geologiche debbono produrre sulla rotazione del globo in tutte e tre le ipotesi sopra descritte; e comparando questi effetti con ciò che è stato osservato, non solo giungeremo a renderci conto della vera natura della rotazione stessa, ma dal cozzo dei vari elementi della questione faremo scaturire anche qualche scintilla capace di gettar un po' di luce sul grado di plasticità della materia onde si compone l'interno della Terra.

11. — Cominciamo dall'ipotesi della rigidità assoluta. Io ho già indicato fin dal principio, che in questa ipotesi ogni cambiamento del luogo del polo deve essere accompagnato da un proporzionale innalzamento del livello del mare in certe regioni e da una corrispondente depressione in certe altre. Ammettendo che la diminuzione della latitudine osservata dagli astronomi importi solo 30 metri per secolo, e che essa

duri anche solo da venti secoli, i fautori dell'assoluta rigidità devono essere preparati ad ammettere che i nostri mari dai tempi antichi di Grecia e di Roma fino ad oggi si siano alzati di circa un metro in tutto il Mediterraneo. Ignoro se lo studio delle antiche spiaggie e delle antiche costruzioni litorali potrà condurre alla conferma o alla confutazione di una tale conseguenza.

Se nella medesima ipotesi dell'assoluta rigidezza si ricerca quale deve essere l'effetto dei sollevamenti e delle erosioni e sedimentazioni sul polo rotatorio della Terra, si arriva ai risultati che vado ad indicare. Il polo di rotazione accompagnerà il polo principale nel movimento che esso fa in conseguenza dei fatti geologici suddetti, ma generalmente non coinciderà col medesimo, e restando ad una distanza più o meno grande, il cui valore dipende da circostanze accidentali, descriverà intorno al polo principale un circolo girandovi intorno indefinitamente nel periodo di 10 mesi o più precisamente di 304 giorni. Ogni 304 giorni si avrebbe dunque una variazione periodica delle latitudini e un'altra variazione periodica corrispondente di uguale periodo nell'altezza del livello del mare. Come ho detto, il raggio del circolo accennato — e per conseguenza anche l'amplitudine dell'oscillazione periodica di 304 giorni nel livello delle acque — dipende da circostanze accidentali, e può variare secondo la grandezza, la posizione e l'ordine cronologico dei trasporti di materia che succedono alla superfice della Terra, il polo principale trovandosi al centro del circolo soltanto negli intervalli in cui ogni lavoro geologico si può considerare come cessato e dentro del circolo, ma fuori del centro, in ogni altro tempo (1).

(1) Il caso del moto concentrico del polo di rotazione intorno al polo principale è stato analizzato completamente da EULERO nella sua mirabile opera *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum*,

Tali conseguenze non sembrano corrispondere all'osservazione dei fatti. Una marea del periodo di 304 giorni è fino ad oggi, per quanto si sappia, intieramente sconosciuta; quanto al moto del polo di rotazione nel circolo ora detto, gli astronomi di Pulkova si sono applicati da più di un quarto di secolo a cercarne le tracce col mezzo di osservazioni esattissime di latitudine, ma senza alcun risultato positivo. Dai loro lavori si può inferire solamente, che se quel circolo esiste, il suo diametro non può in alcun caso superare 3 o 4 metri, e che pertanto il polo principale e il polo di rotazione nell'ipotesi che stiamo discutendo devono coincidere entro quel limite.

Per salvare la proposta ipotesi della rigidità assoluta della Terra noi dobbiamo dunque concludere, che quell'insieme di circostanze accidentali da cui dipende la grandezza del circolo in questione, per una combinazione non probabile ma tuttavia possibile, si è ordinato in modo, da ridurre quel circolo a minime dimensioni; in altri termini, che il polo principale movendosi in conseguenza dei fatti geologici, è seguito continuamente a piccolissima distanza dal polo di rotazione. Ma pigliando la cosa per questo verso si urta in una difficoltà ancora più grande. Infatti poichè dalle osservazioni consta che il polo di rotazione percorre almeno 30 metri in un secolo, dovremo inferirne che anche il polo principale si muove d'altrettanto; e questo moto del polo principale non si

---

capo XII. La determinazione numerica del periodo di 304 giorni è stata tentata la prima volta da Bessel con insufficienti elementi; Peters sembra sia stato il primo a trovare un valore abbastanza approssimato di quella durata combinando insieme le costanti della precessione e della nutazione (*Astronomische Nachrichten*, vol. XXII, p. 145). Il caso del moto eccentrico del polo di rotazione intorno al polo principale corrisponde alle soluzioni, che sotto diversa forma hanno dato del problema della rotazione della terra geologicamente deformantesi GYLDÉN, *Recherches sur la rotation de la Terre* (p. 16 e seguenti) e G. H. DARWIN nella già citata Memoria, *Phil. Trans.*, 1877, p. 279-280.

può attribuire ad altro, nella teoria ora supposta, che all'insieme del lavoro fatto dagli agenti geologici. Or 30 metri di spostamento in un secolo equivalgono a due volte e mezzo lo spostamento prodotto dal sollevamento del Pamir, ed a circa una sessantesima parte dello spostamento che produrrebbe il trasporto dello stesso Pamir nell'Oceano equatoriale sotto forma di sedimento, e questo lavoro i partigiani della rigidità della Terra bisogna che suppongano fatto in un secolo. Assolutamente dunque occorre che cerchino negli attuali sollevamenti e nelle attuali sedimentazioni qualche cosa che equivalga alle operazioni or dette, cioè al sollevamento di un Pamir in quaranta anni o al trasporto e deposizione dello stesso Pamir nell'Oceano equinoziale in sei mila anni: cosa che sarà molto difficile ottenere, a meno che non si voglia ricorrere al disperato partito di supporre ignoti movimenti di materia in luogo ignoto, cioè nell'interno della massa terrestre; idea questa che anche poco si accorderebbe colla supposta rigidità.

Aggiungerò di passaggio, che a conclusioni interamente identiche si verrebbe ammettendo che la Terra sia un corpo non rigido, ma perfettamente elastico. In questo caso il movimento del polo di rotazione potrebbe essere alquanto più grande e uscir un poco fuori dagli angusti limiti in cui bisogna supporlo circoscritto nell'ipotesi precedente. Ma l'ampiezza del circolo percorso col periodo di 304 giorni crescerebbe anche in proporzione, e poichè risulta dalle osservazioni che questo circolo è piccolissimo, siamo ricondotti come nel primo caso ad ammettere che il polo principale segua passo passo quello di rotazione, e ricadiamo precisamente nelle medesime difficoltà (1).

---

(1) In qual misura queste conclusioni siano conciliabili con quelle che Sir W. Thomson (*Natural Philosophy* §§ 882-883) e G. H. Darwin (*On the bodily Tides of viscous and semi-elastic Spheroids*, Phil.

12. — Passiamo ora nel campo opposto, e poniamo la terra fluida o almeno molto plastica ricoperta di una crosta sottile, dico sottile relativamente, ma potrebbe essere anche una corazza d'acciaio di 500 chilometri di grossezza, che non cambierebbe molto le conclusioni. Una Terra così fatta, che adatti subito perfettamente la sua forma all'asse di rotazione e alla forza centrifuga del momento, portando ad ogni istante lo schiacciamento nei punti che determinano l'estremità di quell'asse. E poniamo che sopra la pellicola sferoide così obbediente ad ogni minimo sforzo succeda un sollevamento simile a quello che ho detto del Pamir. Il polo di rotazione — parlo sempre del polo artico, i movimenti dell'antartico essendo uguali ed opposti naturalmente — subito si metterà in moto, e comincerà, da prima lentamente, poi crescendo il sollevamento, con velocità ad esso proporzionale, a descrivere un circolo immenso intorno al Pamir come centro, il raggio essendo la distanza di esso Pamir dal polo iniziale, che sarebbe circa 55 gradi contati sulla superfice del globo. Si vedrebbe dunque scendere il polo artico dalla sua posizione attuale, entrare nel Pacifico a levante del Giappone, per le Molucche scendere sul Mare delle Indie, entrare nell'Africa a Zanzibar, uscirne per Tripoli, traversare il Mar Tirreno ed il Piemonte, e procedendo lungo il Reno ed il Mare del Nord passare fra la Groenlandia e lo Spitzberg per ritornare alla posizione iniziale e ricominciare da capo indefinitamente il medesimo giro. Un altro circolo uguale descriverebbe il polo antartico, traversando quasi dovunque spazi occupati dal mare e non incontrando altre terre che il Brasile, la Gujana, il Yucatan e il Messico. La velocità di questo

---

Trans., 1879) hanno dedotto dalle loro investigazioni teoretiche circa il grado di rigidezza della massa terrestre, non ho potuto discutere entro i limiti concessi a questo discorso: i risultati di tale esame saranno oggetto di altro scritto.

movimento circolare dei due poli sarebbe da principio regolata sulla maggiore o minor lentezza con cui si pone succedere il sollevamento del Pamir, ma crescerebbe continuamente fino a sollevamento compiuto: a questo punto la velocità rimarrebbe costante e i poli continuerebbero a percorrere i descritti circoli in ragione di 385.000 anni per ogni giro, o di 85 metri all'anno. Questi grandiosi effetti superano di gran lunga tutto quello che sul moto dei poli attestano le osservazioni astronomiche presenti. A produrre un moto di 30 metri per secolo, quale si crede d'aver constatato, basterebbe il sollevamento della 570ª parte di un Pamir, e questo sarebbe un'esigenza ancora grande, ma forse non troppo superiore al concetto che si può nutrire sulla potenza degli agenti geologici nell'epoca presente. Tutte queste conclusioni sono state fondate sull'ipotesi, che il sollevamento del Pamir sia unico ed isolato e non sia accompagnato da altri fatti analoghi, i quali alla loro volta imprimendo al polo di rotazione impulsi differenti in diverse direzioni, potrebbero dargli un'infinita varietà di movimenti facendogli percorrere su tutto il globo le curve più complicate e più bizzarre.

Molto più imponenti ancora sono nell'ipotesi della fluidità interna gli effetti del trasporto orizzontale di materia che ha luogo nelle denudazioni e nelle formazioni di sedimenti. Supponiamo che il Pamir sia già sollevato e tutto completo, come esiste adesso e il polo al suo luogo attuale, e che stando tutto in quiete, comincino i gran fiumi dell'India e del Tibet il loro lavoro di erosione, ricostruendo colla stessa materia un gran sedimento nell'Oceano Indiano sotto l'equatore. Il risultato sarà ancora un gran giro periodico del polo come nel caso precedente, solo il moto si farà in senso contrario, e l'orbita descritta invece di un circolo sarà un ovale di quelle che i geometri chiamano *coniche sferiche*, di cui il diametro minore occuperebbe 55° e si stenderebbe dal polo attuale al

centro del Pamir stesso che supponiamo si vada distruggendo; il diametro maggiore si estenderebbe per 81° ½ dall'Albania all'Isola di Jesso, che è la più settentrionale del Giappone. Si vedrebbe dunque il polo scendere dalla sua posizione attuale e pel Mare del Nord e per la Germania dirigersi sulla Turchia Europea ed Asiatica, traversata la Persia invadere il Pamir, passando per il suo centro, uscirne per traversare la China, girare alquanto ad oriente di Yokohama e traversando la Siberia Orientale ritornare al luogo primitivo per rifare in perpetuo il medesimo giro. La velocità del moto sarebbe in ogni giro proporzionale al lavoro di trasporto già eseguito dagli anzidetti fiumi; terminato il quale tal velocità continuerebbe indefinitamente la stessa in ogni giro, e benchè variabile da un punto all'altro di quell'orbita ovale, sarebbe capace di far percorrere uno di tali giri in non più che 1600 anni, giungendo in certi punti fino a 40 metri al giorno. Essendo dunque oggi l'Albania al polo artico, dopo 800 anni se ne troverebbe distante di 81° ½, sarebbe cioè quasi all'equatore. Questo è un movimento cinquantamila volte più veloce che quello trovato dagli astronomi, a spiegare il quale basterebbe dunque che in un tempo anteriore di epoca non bene determinata fosse avvenuta una sedimentazione equivalente alla cinquantamillesima parte di quella del Pamir, cioè di 13 o 14 miglia cubiche.

Questi eleganti e sorprendenti risultati possono addirittura essere considerati come conseguenza matematica necessaria della fluidità interna della Terra, e senz'altro possono essere accettati da quei geologi, che considerano come vera tale fluidità. Qui si suppone, che durante la sedimentazione considerata non succedano sulla Terra altri fatti del medesimo genere. In realtà, siccome su tutti i continenti succedono denudazioni e sedimenti alla foce di tutti i fiumi, l'effetto sarà un movimento del polo composto di molti movi-

menti parziali, di cui la risultante opererà ora in un verso ed ora in un altro, secondo che le cause diventano più potenti ora in una ed ora in un'altra regione. Il risultato generale sarà una continua instabilità dell'asse terrestre, come vedemmo pei sollevamenti: ma mentre i sollevamenti operano molto lentamente nel corso dei secoli, i trasporti orizzontali di materia possono portar una regione dal polo all'equatore in poche migliaia, od anche centinaia d'anni (1).

13. — Tale è dunque l'effetto che le rivoluzioni geologiche, anche prese in scala molto moderata, devono produrre sull'asse terrestre nell'ipotesi della Terra fluida; e poco si ha da modificare, quando si voglia supporla coperta di una crosta in apparenza molto grossa e resistente. All'epoca nostra essi non sembra che si possano applicare, almeno così come li abbiamo veduti, senza notevoli restrizioni: e ciò principalmente per ragioni, che Sir W. Thomson ha dedotto dalle osservazioni del flusso e del riflusso del mare. Da tali osservazioni parrebbe, che la Terra, senza esser assolutamente rigida, sia però così costrutta da non subire deformazioni sensibili dall'attrazione del Sole e della Luna, mentre il mare che è fluido, la risente senza dubbio. Onde non è permesso uguagliare il suo stato di arrendevolezza a quello che si è dovuto supporre per arrivare alle precedenti conclusioni. Pertanto, dopo di aver esaminato le conseguenze della completa rigidità e della completa fluidità della Terra, noi dobbiamo ancora esaminare l'ipotesi di una plasticità limitata, non tale cioè da cedere al minimo sforzo, e tuttavia sufficiente per subire deformazioni sensibili quando la forza deformatrice superi un determinato limite. Possono allora presentarsi due cir-

(1) Le proposizioni che formano oggetto dei paragrafi 12 e 13 si enunziano qui per la prima volta. La loro dimostrazione, per la quale nel presente discorso non vi era luogo, sarà data in una Memoria speciale.

costanze diverse: cioè può la forza deformatrice per un determinato intervallo esser inferiore al limite prescritto, e allora il globo non cederà, come, p. es., non cede alle attrazioni del Sole e della Luna che producono le maree: il movimento del polo durante questo periodo o questi periodi sarà esattamente lo stesso che nel caso della assoluta rigidità, vale a dire sarà circoscritto entro angusti limiti, e dipenderà esclusivamente dal trasporto del polo principale operato durante quelle epoche dagli agenti che trasformano la superfice della Terra. Ma quando l'effetto di questi agenti faccia crescere la tensione e la forza deformatrice al di là del limite in cui la plasticità comincia a manifestarsi, si presenterà il secondo caso, cioè la Terra comincerà a deformarsi, e seguiterà a deformarsi fintantochè la tensione prodotta nella sua massa dalla forza centrifuga e dalla gravità sarà abbastanza forte per tenersi sopra al limite accennato. Durante questo periodo la variabilità del polo di rotazione sarà altrettanto grande che nel caso della fluidità completa, esso potrà percorrere tutte le parti del globo, seguito con moto uguale, ma ad una certa distanza, dal polo principale. E il movimento dei due poli allora sarà da attribuirsi soltanto in piccola parte agli agenti trasformatori del globo, il resto sarà pura e semplice conseguenza delle deformazioni precedentemente subite.

In questa ipotesi della plasticità limitata abbiamo dunque alternatamente lo stato di cose corrispondente alla rigidità assoluta e quello corrispondente alla completa fluidità; il numero, successione e durata delle alternative dipende da circostanze di carattere accidentale, sulle quali non si può fare alcuna teoria, e che soltanto si possono constatare coll'esperienza. Se ora dimandiamo, ritenuta come vera quest'ipotesi, di qual carattere è il periodo presente che stiamo attraversando, non sarà possibile alcuna esitazione. Già abbiamo veduto che i movimenti del polo con-

statati dall'astronomia sono tali, che nello stato di rigidità assoluta non si possono spiegare se non col supporre nei presenti fattori delle trasformazioni geologiche un grado di attività troppo superiore a quanto risulta dalla quotidiana esperienza. Dunque è forza concludere, che noi stiamo attraversando un periodo dell'altra specie, in cui gli effetti rassomigliano a quelli che derivano dall'ipotesi della completa fluidità; effetti che potrebbero spiegare le variazioni osservate dall'astronomia con ipotesi moderatissime sull'attività presente delle forze trasformatrici del globo.

14. — Raccogliendo dunque insieme a stretto confronto gli elementi della discussione, troviamo che ammessa la verità dei risultati astronomici intorno alla variabilità delle latitudini, l'ipotesi dell'assoluta rigidità della Terra e di un movimento dei poli limitato al puro effetto dei fattori geologici, si deve escludere assolutamente. Secondo, che la supposizione della assoluta fluidità non conduce ad alcuna contraddizione coi fatti della categoria qui esaminata; tale supposizione noi la escludiamo solamente perchè W. Thomson ha dimostrato esser inconciliabile colle osservazioni del flusso e del riflusso del mare. Noi siamo dunque condotti ad adottare per vera l'ipotesi della plasticità limitata, la quale oltre ad esser la più verosimile per ragioni intrinseche che la brevità del tempo m'impone di tacere, ha sulle altre il vantaggio di non trovarsi in opposizione con alcun fatto osservato. Ma inoltre noi possiamo dire, che nel periodo attuale la Terra, in virtù di questa plasticità si va continuamente deformando e cedendo all'impulso della gravità e della forza centrifuga si va adattando alle successive posizioni del suo asse rotatorio. Essa non ha alcuno schiacciamento proprio ed indipendente dalla rotazione; la sua forma ellissoidale è pura conseguenza del moto diurno e cesserebbe col cessare di questo. I poli possono vagare entro larghissimi li-

miti, e il loro movimento ad ogni istante è determinato dal lavoro anteriore degli agenti trasformatori della superfice terrestre.

15. — Quando adunque i geologi dall'esame dei fatti concernenti la loro scienza sono condotti a supporre grandiose variazioni nelle latitudini terrestri, l'astronomia è ben lontana dall'esser in grado di opporre loro un *veto* assoluto! Si ammettano, o non si ammettano le conseguenze dell'ipotesi di Laplace: sia stata fluida la Terra altre volte o no: sia cosmica o chimica l'origine del calore sotterraneo: tutto questo è indifferente alla questione. Senza voler fissare con precisione quale fosse la rapidità delle evoluzioni del polo nelle epoche primitive della Terra, e se sia stata in origine maggiore che adesso, i fatti generali furono allora come sono al presente: niente di solido si può opporre, per esempio, all'ipotesi, che durante uno stesso periodo geologico — che è quanto dire durante un certo numero di milioni d'anni — il polo abbia potuto tanto errare sulla superfice della Terra, da produrre alternatamente lo stesso clima in luoghi che adesso godono di temperie diversissima; e che gli stessi animali e le stesse piante, trasportandosi successivamente e lentamente nelle regioni favorevoli al loro sviluppo, siano state dal polo vagabondo obbligate ad occupare transitoriamente luoghi ora dispersi in tutte le zone dei nostri climi, producendo così quell'apparente universalità delle faune e delle flore che contraddistingue appunto le epoche più lontane da noi; e che in epoche posteriori, decrescendo le oscillazioni del polo, abbia cominciato quel meno instabile assetto di climi, che limitò il maggior numero delle specie ad aree determinate.

16. — Permettetemi ancora di aggiungere qualche parola sull'influsso che necessariamente questo stato di cose ha dovuto esercitare sopra l'equilibrio degli strati superficiali del globo. In questi grandi trasporti del polo la crosta della Terra ha dovuto subire azioni

meccaniche di estrema violenza. La curvatura della superfice terrestre all'equatore è ben diversa da quella che si ha nella vicinanza dei poli; la stessa parte della crosta dovendo trovarsi ora più presso al polo ora più presso all'equatore, è facile immaginare quali specie di squarciature e di contorsioni abbiano potuto nascere in quella scorza eterogenea e solo imperfettamente flessibile. Un meridiano terrestre è più corto dell'equatore di $^1/_{600}$ della sua lunghezza. Se dunque quella linea che era un meridiano, dopo qualche tempo diventa equatore, ogni 600 metri della sua lunghezza ne mancherà uno per cingere lo sferoide lungo la nuova linea; occorre cercar altro per moltiplicare all'infinito le più grandiose fratture? Le quali mettendo i regni di Plutone a contatto coll'atmosfera e coll'acqua han potuto trasformarsi in quelle lunghissime linee di sollevamento che tutti conoscono. Alle azioni meccaniche che tendono a deformarli, gli strati superficiali, imperfettamente flessibili e poco elastici, resisteranno fino a che si determini una rottura. Durante il periodo di tensione che la precede nasceranno nel livello degli strati stessi delle variazioni accidentali, indipendenti da altre cause di reale sollevamento o di reale depressione. Giunta la tensione al punto critico l'equilibrio si ristabilirà con una violenta scossa, i cui effetti potranno esser sentiti sopra una grande area, indipendentemente da ogni fenomeno vulcanico.

17. — Come si vede, il solo fatto, in apparenza così semplice e in realtà così complesso, della rotazione del globo, basta o basterà fra non molto tempo a formare un nuovo e splendido capitolo di ciò che molto opportunamente il prof. Stoppani ha denominato *Dinamica Terrestre*. Sono cose, che in gran parte oggi appena s'intravvedono in nube, e le proposizioni che le concernono, sono in gran parte condizionate, cioè si enunciano dicendo, *dato questo, è vero quest'altro*. Anche tutto quello che ebbi l'onore di esporvi è fondato

sopra l'adempimento di una condizione: cioè che le variazioni trovate dagli astronomi nelle latitudini non possano col tempo spiegarsi per mezzo di qualche altra causa adesso sconosciuta e che sarebbe difficile immaginare. Nessuno dubita però che anche qui, come in tanti altri argomenti, il terreno dell'investigazione si andrà mano mano consolidando; e che un giorno i posteri avranno a maravigliarsi, come cose per loro tanto evidenti e tanto semplici abbiano potuto sembrare a noi così difficili e così incerte.

22 agosto 1882.

XV.

SULLE ANOMALIE DELLA GRAVITÀ

Discorso letto alla Società Italiana di Scienze Naturali in Milano il 1º marzo 1896; stampato nella *Rivista Geografica Italiana*, Anno III, Fasc. V-VI, maggio-giugno; Fasc. VII, luglio 1896. Roma.

I.

Allorquando Isacco Newton, dando alla luce nel 1687 la sua opera immortale *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, proclamò come legge universale della materia, che tutte le parti di essa si attraggono reciprocamente in ragione diretta delle masse, ed in ragione inversa dei quadrati delle distanze, una grande e completa mutazione si produsse presso i fisici e presso gli astronomi nel modo di considerare la natura e gli effetti della gravità, cioè della forza, che produce il peso dei corpi, e la loro caduta alla superfice della Terra.

Gli antichi solevano spiegare il peso dei corpi gravi e la loro caduta per mezzo di una naturale tendenza che li spingesse ad avvicinarsi a quel punto, che formava, secondo le loro idee, il centro di tutto l'Universo. Così essi riuscivano a comprendere, come la terra, il più grave dei quattro elementi, si trovasse raccolta in forma di sfera intorno ad esso centro, e come l'acqua, men grave della terra, e l'aria, men grave dell'acqua, fossero disposte sfericamente intorno a quella secondo l'ordine decrescente del loro peso specifico: e come, contrastandosi tutte le tendenze in modo simmetrico intorno al centro, dovessero, per semplice effetto del peso delle loro parti, la terra e l'acqua, e l'aria riposare immobili su quello. In questa semplice costruzione le linee verticali convergevano intorno ad un punto unico, centro comune della Terra, dei suoi

involucri, delle sfere planetarie, della sfera stellata, e insomma di tutto l'ordine cosmico. Questo concetto del centro della Terra, come punto *al qual si traggon d'ogni parte i pesi*, non fu neppure intieramente scosso quando, secondo le idee di Copernico, il luogo centrale dell'Universo fu attribuito al Sole. Ancora da Galileo, da Cartesio e da quasi tutti i fisici del secolo XVII, e da molti ancora del XVIII, il centro della Terra è considerato come un punto speciale, dove convergono le linee verticali di tutti i climi.

A tale concetto piuttosto metafisico di un centro ideale, di un semplice punto geometrico che attira i corpi verso di sè, surroghiamo con Newton l'altro concetto della reciproca attrazione delle parti della materia fra di loro. A considerare sottilmente, esso non è forse meno trascendente dell'altro: noi l'accettiamo come un fatto di esperienza, a conferma del quale esistono cento prove, e del quale la verità è stata mostrata da Newton e dai suoi continuatori per mezzo di mille fenomeni. Qualunque idea noi vogliamo farci sull'intimo essere dell'attrazione, certo è, che nel mondo della materia tutto succede appunto come se le particelle di questa avessero la virtù intrinseca di attirarsi l'una l'altra in ragione diretta delle masse e inversa del quadrato della loro distanza.

Ammesso questo, la gravità dei corpi ci appare come un fenomeno assai meno semplice di quanto prima si poteva credere. Se il globo terrestre, con tutte le sue appendici naturali ed artifiziali, col mare e coll'atmosfera, s'intenda mentalmente scomposto nei suoi elementi materiali; un grave sarà da ciascuno di questi elementi sollecitato a moversi secondo la linea che lo congiunge con quell'elemento. Tutte queste forze, operanti intorno al grave in tutte le possibili direzioni, si compongono in una risultante unica, che colla sua direzione ed intensità rappresenta l'attrazione totale della massa terrestre sul corpo considerato.

Se ora la Terra fosse una sfera geometricamente

esatta, e se le sue densità interiori fossero simmetricamente disposte intorno al suo centro, è chiaro, che tutte le attrazioni dei corpi tenderebbero pure verso il suo centro in modo simmetrico, e la loro caduta si farebbe pure da ogni parte verso questo centro, come supponevano gli antichi. Ma in natura le cose corrono molto diversamente. La superfice della Terra è piena d'irregolarità naturali ed artificiali; in certi luoghi esistono prominenze, che si elevano sin quasi a nove chilometri sul livello della generale superfice; in altri luoghi sono cavità o depressioni profonde altrettanto. Egli è vero che queste depressioni sono piene d'acqua; ma la massa dell'acqua ad ugual volume, o ciò che si chiama la sua densità, è da due e mezzo a tre volte minore che la densità della crosta solida; onde l'ammanco di materia non è che in poca parte compensato. Tale irregolarità nella distribuzione delle masse superficiali è poi ancora complicata da ineguale ripartizione della densità nella materia sotterranea. Le conseguenze sono chiare: percorrendo la superfice del globo da una regione all'altra, non solo l'intensità della forza attrattiva non potrà esser la medesima dappertutto, ma anche le direzioni di questa forza nei vari luoghi non seguiranno una legge esattamente geometrica, e non sarà lecito supporre, che tutte queste direzioni convergano verso un centro unico.

V'ha di più; in un medesimo luogo la forza con cui un grave è tratto a cadere non è sempre la medesima, nè come intensità, nè come direzione. Ogni trasporto di materia che abbia luogo alla superfice della Terra o nel suo interno, vi produce un'alterazione corrispondente, modificando la distribuzione delle masse, e quindi anche la risultante delle attrazioni. Si è calcolato, che appiè della gran piramide, e precisamente sul mezzo di ciascuno dei quattro lati della base, il filo a piombo devia verso la piramide di 0",7 dalla direzione che dovrebbe avere, se la piramide non esistesse. Il re Cheope adunque, facendo costruire

quel monumento, produsse artificialmente in quel luogo uno spostamento nella direzione della gravità, che arriva fino a 0",7: quantità perfettamente misurabile nello stato presente dell'astronomia pratica (1). Molto maggiori modificazioni poi col lento volger dei secoli han dovuto produrre i sollevamenti delle montagne, le erosioni meteoriche e le corrispondenti alluvioni, le formazioni dei delta alle bocche dei grandi fiumi, ed in generale tutti gli spostamenti, spesso colossali, di materia che hanno avuto luogo alla superfice del globo. E finalmente non si può dubitare che i cambiamenti periodici, prodotti nella figura d'equilibrio del mare dal flusso e dal riflusso, non abbiano ancor essi qualche piccolo effetto, come pure i movimenti d'aria che chiamiamo venti, l'acqua sottratta da un luogo sotto forma di evaporazione, che si condensa in un altro sotto forma di neve, qualche volta a grandi masse, come per esempio sulla Groenlandia.

Non basta però considerare il globo nella sola distribuzione delle sue masse: di un altro elemento importante bisogna tener conto, del quale gli antichi non avevano ad occuparsi: questo è la rotazione sensibilmente uniforme, che la Terra fa intorno al suo asse in 23^h 56^m di tempo medio, e in 24 ore di tempo siderale. In virtù di questa nasce una tendenza di tutte le parti così solide, come fluide, ad allontanarsi dall'asse rotatorio, costituendo così ciò che si chiama la *forza centrifuga;* la quale non è una vera forza come le altre della Natura, ma un semplice risultato dell'inerzia della materia. La forza centrifuga è nulla per i punti collocati lungo l'asse di rotazione, e cresce colla distanza da quest'asse; però anche nei paesi

(1) La stessa cosa si può presentare sotto altra forma, dicendo che colla costruzione della piramide si creò in quei punti una componente orizzontale della gravità; la quale per ogni chilogramma di peso verticale, importa tre milligrammi di peso orizzontale.

dell'equatore, dove tal distanza è massima, non arriva a superare $^1|_{289}$ dell'attrazione. Il suo effetto pertanto è quello di modificare alquanto la figura d'equilibrio del mare, mutandone la superfice generale (che senza di ciò sarebbe prossimamente sferica) in una forma poco diversa da quella di un ellissoide leggermente schiacciato ai poli, la quantità dello schiacciamento essendo da ciascuna parte non più che $^1|_{600}$ del diametro polare, cioè 21 chilometri per parte. A questa deformazione è probabile che prenda parte ancora la crosta solida del globo, e con essa anche la massa più interna. Infatti prova il calcolo, che quand'anche tutto l'interno della Terra fosse solido e composto delle materie più rigide e più dure (quali per esempio l'acciaio od il vetro), lo sforzo generato dalla rotazione terrestre sopra una massa così grande dovrebbe produrre in essa una deformazione sensibile e non molto minore di quella che avrebbe luogo nell'ipotesi della fluidità completa. Un tale sforzo prolungato per un gran numero di secoli, e coadiuvato all'esterno da continui movimenti di materia, specialmente dalle erosioni e sedimentazioni, ha finito per ridurre anche la parte solida della superfice ad una forma non molto diversa da quella che avrebbe il mare in quelle regioni, quando fosse sostituito ai continenti.

Noi siamo ora in grado di definire con precisione che cosa s'intende per figura della Terra. La figura matematica della Terra è quella sotto cui si costituirebbe in equilibrio la superfice delle acque dell'Oceano, quando queste penetrassero sotto i continenti con una rete d'infiniti canali comunicanti da un mare all'altro. In questa definizione s'intende fatta astrazione dalle piccole oscillazioni periodiche dipendenti dalle maree e dalle azioni meteorologiche: oscillazioni che praticamente si posson trascurare in una considerazione generale come la nostra. La superfice matematica così concepita (a cui negli ultimi tempi si

è usato spesso dare il nome di *geoide* (1) per brevità del discorso) è determinata in ogni suo punto, secondo le leggi dell'idrostatica, dall'azione combinata dell'attrazione di tutta la Terra in quel punto e della forza centrifuga: delle quali due forze la risultante è quella che propriamente chiamiamo la *gravità*, perchè è dessa che determina il peso dei corpi e la direzione in cui li vediamo cadere. La gravità opera dovunque perpendicolarmente alla superfice matematica, che dà il piano di livello; essa determina la linea verticale, segnata dal filo a piombo. Come la teoria dimostra, ed il fatto conferma, il geoide o superfice matematica della Terra ha una curvatura dolce e continua, che varia per gradi da un punto all'altro: essa non presenta in alcun luogo spigoli, nè cuspidi, nè altra soluzione di continuità. Ma questa curvatura in ciascun punto è, generalmente parlando, diversa secondo le diverse plaghe dell'orizzonte, e varia poi quando si passa da una regione ad un'altra. Per quanto fino ad oggi è stato esplorato, dappertutto la superfice del

(1) Alcuni usano dare il nome di *geoide* a tutte le superfici equipotenziali del globo, una delle quali sarebbe segnata dal mare, quando questo si trovasse in completo equilibrio sotto l'influsso delle attrazioni e della forza centrifuga. Il mare essendo in continuo movimento, non si può affermare, a tutto rigor di termini, che la sua superfice costituisca un geoide. Si può tuttavia affermare che in pratica la differenza è molto piccola, e finora si è sottratta alle più diligenti osservazioni. Certo è, che una deviazione sensibile del mare dalla figura d'equilibrio dev'esser prodotta da diverse cause, e specialmente dalla varia pressione che l'atmosfera esercita in varie parti della sua superfice. Sotto il parallelo del Capo Horn la pressione barometrica media è di 746 mm., mentre sulle Isole Azzorre giunge a 766 mm. La differenza importa 20 mm. di mercurio e 27 centimetri d'acqua; di tanto, sulla media dell'anno, il livello dell'Oceano intorno alle Azzorre sarà inferiore a quello che ha luogo sotto il parallelo del Capo Horn. Anche questa causa non è di alcuna pratica importanza. La superfice del mare offrirà sempre la base più sicura per le livellazioni, e darà sempre il miglior termine di confronto per le altitudini in tutte le regioni della Terra. Sarà dunque pel momento ancora permesso ai geografi di considerare la superfice media dell'Oceano come rappresentazione sufficientemente esatta della figura matematica della Terra.

geoide è convessa e di forma rotondeggiante, ed in nessun luogo la sua curvatura differisce molto da quella di una sfera. Per questo si suol anche dire talvolta, che la Terra è uno *sferoide*, per indicare che, malgrado tutto, essa rassomiglia entro certi limiti d'errore ad una sfera perfetta, quale la supposero gli antichi dopo Anassimandro e Pitagora, e sull'esempio degli antichi anche i moderni, fino all'epoca di Newton.

Dalle cose sin qui esposte è manifesto, che nello sferoide terrestre dovranno riflettersi tutte le anomalie dell'attrazione provenienti dalle prominenze e dalle cavità della superfice fisica della crosta e dal modo irregolare con cui è distribuita la densità nelle parti interne. La sua figura pertanto non può essere assimilata rigorosamente ad alcuna delle forme conosciute della geometria: l'investigarla non può essere che un problema puramente empirico, deve cioè dipendere da misure direttamente eseguite in ogni parte dello sferoide stesso. Come il cieco, che non potendo abbracciare un corpo qualunque collo sguardo, pure riesce a farsi un'idea delle sue forme tastandolo in molte parti della superfice: così gli astronomi, non potendo elevarsi nello spazio celeste onde esaminare e misurare la Terra da un punto favorevole di prospettiva, si trovarono obbligati a determinarne la figura esplorando, col mezzo di estese misure geometriche appoggiate ad osservazioni celesti, la curvatura che presenta in diverse regioni la sua superfice convessa. Così ebbero origine le misure assai numerose di archi di meridiano e di parallelo, che, incominciate negli anni 1735-1740 sotto gli auspici dell'Accademia delle Scienze di Parigi colle celebri spedizioni scientifiche del Perù e della Lapponia, furono continuate per più d'un secolo e mezzo ed ora procedono più alacremente che mai sotto la direzione dell'Associazione Geodetica Internazionale, a cui l'Italia pure è ascritta.

Tutte queste misure, fatte colla massima dili-

genza in diversissime parti del globo, in Europa, in India, al Perù, agli Stati Uniti, al Capo di Buona Speranza, ebbero per risultato abbastanza concorde di confermare quanto già da Newton era stato proposto come verosimile, che la figura generale del globo non differisca molto da un ellissoide simmetrico intorno all'asse di rotazione e leggermente compresso ai poli. La piccola compressione è tale, che se, nel costruirne l'immagine per mezzo di un globo artificiale, si assegnino all'equatore 300 millimetri di diametro, il diametro polare sarà di soli millimetri 299. Questo è l'*ellissoide normale*, che si assume talvolta come rappresentazione geometrica approssimativa della figura della Terra, e che si prende anche per base di molti calcoli. La vera superfice della Terra, il geoide, in certe regioni si eleva sopra l'ellissoide ed è di esso più gonfia; in altre parti rimane al di sotto, ed è più depressa. Or queste maggiori e minori prominenze del geoide rispetto all'ellissoide normale sono distribuite molto irregolarmente, e soltanto in pochi luoghi si è cominciato ad esplorarne l'andamento e la distribuzione. S'ignora ben anche fino a qual limite di grandezza possano arrivare tali prominenze e tali depressioni: generalmente prevale adesso l'opinione, che non possano superare alcune centinaia di metri. Una cosa però risulta come certa da quanto finora ne è stato esplorato: cioè che tali prominenze e depressioni sono intimamente collegate alla positura continentale od oceanica delle regioni, ed alle particolarità orografiche della crosta solida, così nei continenti, come sul fondo del mare: e da ultimo anche alla struttura interna della crosta medesima. Ecco per qual motivo la ricerca della figura del geoide, benchè principalmente astronomica per i suoi principî e per i suoi metodi, è di specialissimo interesse per la Geografia Matematica, per la Geologia, e per la Storia della Terra.

II.

Nella pratica, la ricerca della vera figura del globo si fonda principalmente sullo studio comparativo della curvatura che in una medesima regione hanno il geoide, cioè la superfice vera irregolare, e l'ellissoide normale, cioè la superfice geometrica, che si prende come punto di riferimento. Facendo questa comparazione per un dato punto della Terra, generalmente avverrà che ivi le due superfici non saranno parallele fra di loro, e pertanto non lo saranno neppure le rette ad esse perpendicolari. Avremo dunque in ogni punto della Terra due verticali: cioè la verticale *normale*, perpendicolare alla superfice dell'ellissoide, e di cui è facile assegnare in ogni luogo la direzione col mezzo del calcolo: e la verticale *effettiva*, perpendicolare al geoide, che è segnata dal filo a piombo. Alla deviazione della verticale effettiva dalla verticale normale si è dato il nome di *attrazione locale* e l'altro più chiaro e più preciso di *deviazione del filo a piombo* (1). Lo studio di un tale elemento è uno dei principali mezzi che si possono impiegare per la ricerca della figura del geoide.

Il problema dell'attrazione locale fu dapprincipio considerato sotto la forma di *attrazione delle montagne*, alla quale già aveva rivolta l'attenzione Newton me-

(1) Questa definizione suppone che si assuma come termine di confronto ciò che sopra fu chiamato *ellissoide normale*, cioè quell'ellissoide che meglio di ogni altro si adatta a rappresentare la figura della Terra in tutta la sua estensione. Un tale ellissoide non è, per ora, determinato; diversi autori (Bessel, Clarke, Schubert), prendendo per base diversi sistemi di osservazioni, e discutendoli ciascuno in diverso modo, ne hanno definito diversamente gli elementi. Per lo studio delle irregolarità del geoide entro una regione non troppo estesa è tuttavia indifferente di assumere l'uno o l'altro degli ellissoidi proposti: importa soltanto che l'ellissoide adottato sia sufficientemente prossimo al vero. Come ciò possa essere, si comprenderà dal seguente esempio, che offre

desimo (1). Se noi consideriamo una montagna come una semplice addizione di materia fatta alla mole terrestre sotto forma di una protuberanza più o meno grande, è manifesto, che dato il principio newtoniano dell'attrazione reciproca fra tutti gli elementi della materia, l'esistenza di una tal montagna deve per sè sola produrre una perturbazione della linea verticale, la massa della montagna attraendo a sè con maggior o minor forza un piombino sospeso in prossimità di essa, alla sua base, oppure anche lungo i suoi fianchi. La massa della montagna non essendo che una minima frazione di tutta la massa del globo, la deviazione del piombino sarà per lo più poco sensibile; ma tuttavia è facile persuadersi col calcolo di un esempio qualsiasi, che non occorre alcuna supposizione straordinaria per rendere una tale deviazione facilmente accessibile ai mezzi di osservazione di cui gli astronomi dispongono. La piramide di Cheope può colla sua attrazione deviare di 0",7 un piombino collocato sul mezzo di uno dei lati del quadrato che le serve di base. È facile dimostrare che una piramide della medesima materia e dieci volte maggiore in tutte le sue dimen-

un caso parallelo. Quando si vuole esplorare la configurazione altimetrica d'una regione si può farlo riferendosi al piano di livello d'altitudine zero; ma non è necessario. Qualunque piano arbitrario di riferimento potrà servire allo scopo, purchè sufficientemente orizzontale; ed è nell'arbitrio dell'operatore di supporre l'altitudine zero in uno qualunque dei punti da lui considerati. A lui basta di conoscere le differenze di livello, non le quote assolute. In egual modo i geodeti calcolano le attrazioni locali prendendo per base un ellissoide entro certi limiti arbitrario, e sogliono anche assumere ad arbitrio il punto di deviazione zero; cioè il punto a cui si debbono per comparazione riferire le deviazioni degli altri punti. In altri termini, essi studiano non le deviazioni assolute (che nello stato presente della scienza non si potrebbero avere) ma le differenze di deviazione; e ciò basta al loro intento.

(1) « Newton a calculé l'attraction d'une montagne dont la hauteur serait de trois milles et la largeur de six; et a trouvé qu'une telle montagne formée de matière homogène et la même que celle qui forme la Terre, causerait au fil à plomb une déviation de 2' ». MAUPERTUIS, *Eléments de Géographie*, Art. XV (*Oeuvres* de Maupertuis, éd. 1768, Tome III, p. 60).

sioni produrrebbe una deviazione dieci volte maggiore, cioè di 7". Una tal montagna non arriverebbe a 1500 metri d'altezza: quindi dal Monviso, dall'Etna, dal picco di Teneriffa sarebbe lecito aspettare deviazioni molto maggiori. Da questo concetto partirono i primi discepoli di Newton per ottenere una dimostrazione sperimentale di quella misteriosa attrazione, che tanto ripugnava alla fisica Cartesiana allora dominante nelle scuole.

Nel 1738, durante la misura del grado Peruviano, l'astronomo Bouguer fece un tentativo per determinare l'attrazione del Chimborasso, montagna di circa 6250 metri, che si trovava prossima al campo d'operazione (1). La deviazione di 7"½ da lui trovata era assai minore di quanto si poteva aspettare e non fu considerata per allora come molto dimostrativa, attesa anche l'imperfezione dei mezzi di cui si servì il Bouguer. La prima prova veramente concludente dell'attrazione che una massa montagnosa può esercitare sul piombino fu data nel 1772 dall'astronomo inglese Maskelyne per mezzo di operazioni geometriche combinate con accuratissime osservazioni astronomiche fatte al Sud e al Nord del monte Shehallien in Iscozia: monte, a dir vero, non molto grande (1000 metri circa di altezza), ma di forma e giacitura bene adattata allo scopo (2). Risultò veramente, come si aspettava, che il filo a piombo collocato al Sud era attratto verso il Nord, e collocato a Nord, era attratto verso il Sud: la somma delle due deviazioni essendo di 11",6, quale potevasi aspettare. Come poi la realtà dell'attrazione newtoniana fra tutte le parti della materia fosse più tardi dimostrata in modo anche più rigoroso e concludente con semplici esperimenti di gabinetto da Ca-

(1) Bouguer, *La figure de la Terre, déterminée par les observations de MM. Bouguer et La Condamine, envoyés par ordre du Roy au Pérou*, ecc. Paris, 1749, p. 364-390.

(2) *Philosophical Transactions*, 1776.

vendish e dopo di lui da molti altri, e come da questi lavori risultassero determinazioni sempre più precise della massa e della densità media della Terra, è noto abbastanza. È tuttavia mio dovere aggiungere ad onor del vero, che nell'anno 1764, cioè otto anni prima delle operazioni del Maskelyne, il P. Giambattista Beccaria, aveva compiuto la sua misura del grado meridiano di Piemonte, dalla quale risultarono a lui le attrazioni delle montagne con certezza assai più conclusiva che non dalle operazioni di Bouguer al Chimborasso, ed in misura assai più grande di quanto risultasse non solo dalle operazioni del Maskelyne, ma ancora da quasi tutte le altre operazioni di tal genere che dappoi furono eseguite in molte parti del globo (1). Le estremità dell'arco di Beccaria stanno dalla parte del Nord in Andrate, appiè delle ultime diramazioni del sistema del Monte Rosa, là dove comincia la grande e famosa morena detta *la Serra:* dalla parte del Sud in Mondovì a poca distanza dal luogo dove terminano le Alpi Marittime. In Andrate il filo a piombo è attratto verso il Nord, in Mondovì verso il Sud: la somma delle deviazioni importa non meno di 48", cioè $^1/_{85}$ di tutta l'ampiezza dell'arco frapposto, che è di 1° 8'. Osserva il Beccaria, che forse in nessun'altra parte del mondo si trovano così grandi aberrazioni della verticale in così breve tratto (2). Questi risultati parvero da principio poco credibili, e molti ne dubitarono fino all'anno 1821, nel quale Carlini, portatosi appositamente in Andrate e a Mondovì per ivi ripetere le osservazioni di Beccaria con strumenti più perfetti, non solo ne confermò il risultato, ma dimostrò anzi che l'anomalia è anche un poco più grande di quella segnata da Beccaria, il quale aveva trovato solo 34" invece di 48" (3).

---

(1) Beccaria e Canonica, *Gradus Taurinensis*. Aug. Taurinor, 1774.
(2) *Gradus Taurinensis*, p. 192.
(3) Plana e Carlini, *Opérations géodésiques et astronomiques pour la mesure d'un arc du parallèle moyen*, Vol. II, p. 347.

Consimili deviazioni hanno luogo in altre parti della valle del Po. Così la differenza di longitudine fra la Specola di Milano e quella di Torino, calcolata sull'ellissoide normale per mezzo delle misure trigonometriche è di 1° 30' 14" (1); la medesima differenza fra le direzioni effettive delle verticali del geoide nei due luoghi, quale risulta dalle operazioni astronomiche fatte dai miei amici e colleghi Dr. Rajna e Professor Porro nel 1885, è soltanto di 1° 29' 41" (2). La differenza 33" rappresenta l'effetto complessivo delle attrazioni che il filo a piombo soffre a Milano e a Torino nel senso Est-Ovest: effetto che forse in questo caso non è tutto dovuto all'attrazione delle montagne, ma potrebbe in parte essere attribuito a distribuzioni molto anormali della densità sotterranea nei terreni della valle Padana, delle quali avrò a dire in seguito.

In presenza di tali fatti era naturale concepir l'idea, che non solo le grandi montagne, ma anche ogni altra elevazione del suolo avesse a disturbare la verticale, qualunque ne fosse la forma, per esempio quella di un esteso altipiano. Lungo le rive del mare poi non è neppure necessaria una protuberanza del terreno per produrre una deviazione. Infatti la densità dell'acqua essendo 2½ a 3 volte minore di quella dei terreni ordinari, un filo a piombo sospeso in riva al mare dovrà, per questo solo fatto, esser attratto con maggior forza dalla parte del continente, dove vi è maggior densità e quindi maggior massa, anche quando il continente sia una bassa ed uniforme pianura. Tali effetti dei rilievi continentali, verificati più e più volte colle dirette osservazioni, verso la metà del presente secolo fecero nascere in alcuni la speranza, che lo studio di tali rilievi ed il calcolo dell'attrazione da essi eser-

(1) PLANA e CARLINI, *Opérations ecc.*, Vol. II, p. 263.

(2) RAINA e PORRO, *Determinazione della differenza di longitudine fra gli osservatori di Milano e di Torino mediante osservazioni fatte nel 1885.* (Pubbl. dell'Osserv. di Brera, n. XXXVI).

citata potesse bastare a render conto, almeno in molta parte, delle deviazioni notate fra la verticale del geoide, e quella dell'ellissoide normale.

Ma ulteriori e più diligenti investigazioni dimostrarono, che tale speranza è affatto illusoria. A questo contribuì sopratutto l'imbarazzante scoperta di montagne grandissime, alla cui attrazione il filo a piombo si mostra affatto o quasi affatto insensibile. Nel 1855 il Reverendo Pratt, arcidiacono di Calcutta, trovò che, secondo il calcolo, all'estremità boreale della gran meridiana dell'India la gran massa sovraincombente degli Himalaja avrebbe dovuto far deviare il filo a piombo di 28" verso il Nord rispetto alla direzione calcolata sull'ellissoide normale partendo dalla pianura del Gange (1). Le osservazioni astronomiche non diedero più di 4". Questo valse a richiamare in mente la piccola deviazione trovata da Bouguer al Chimborasso, tanto inferiore a quella che si avrebbe dovuto aspettare da sì grande montagna: e condusse a pensare, che in fin dei conti non fosse permesso di considerare le montagne come semplici appendici di materia collocate sul suolo senza alcuna relazione colla struttura degli strati sottoposti. Si comprese che il fatto stesso del sollevamento di quelle masse poteva benissimo essere accompagnato da fenomeni interni capaci di produrre, se non grandi spazi vuoti, almeno diminuzioni di densità sufficienti ad equilibrare in certi casi l'attrazione della massa protuberante; idea questa che già un secolo prima era stata emessa dal P. Boscovich (2).

---

(1) *Philosophical Transactions*, 1855.

(2) «....Les Montagnes se forment, je pense, pour la plupart par l'effet d'une chaleur interne, qui soulève les couches de la Terre les plus proches de la surface; et s'il en est ainsi, cette élévation n'ajoute aucune nouvelle matière, et le vide renfermé dans l'intérieur de la montagne compense la masse qui la couvre». MAIRE et BOSCOVICH, *Voyage astronomique et géographique dans l'état de l'Eglise pour mesurer deux dégrés du méridien*, ecc., Livre V, § 238, Paris, 1770.

Tali sospetti furono avvalorati dalla considerazione di un altro fatto non meno curioso ed inaspettato: dall'esistenza provata di considerabili deviazioni del filo a piombo in regioni perfettamente piane ed uniformi. Si ricordò allora, che già quarant'anni prima (1822) Carlini, comparando le latitudini astronomiche osservate in Milano ed in Parma con quelle che avrebbero dovuto risultare dalle misure trigonometriche applicate all'ellissoide normale, trovò una differenza di 20" e più nella distanza fra i paralleli delle due città (1). Questa discordanza così notabile non può esser spiegata colle attrazioni delle montagne, essendo il terreno fra le dette città perfettamente piano, e trovandosi queste a tale distanza dalle Alpi e dagli Appennini, che non permette di considerare l'influsso delle loro masse esteriori come capace di produrre sì grande effetto. Di questo pertanto la causa non può essere ricercata che in grandi anomalie della densità sotterranea sotto la pianura centrale del Po, e probabilmente in una densità deficiente nella regione compresa fra quelle due città.

Nel 1862 il Professore Schweizer, direttore dell'osservatorio di Mosca, pubblicò i risultati delle sue minute ricerche sulle anomalie del filo a piombo nelle regioni circostanti a quella città (2). Il terreno intorno a Mosca è perfettamente piano, le montagne più prossime, che sono quelle di Valdai e di Wolkonski, non hanno alcuna importanza, le grandi catene degli Urali, dei Carpati e del Caucaso sono così lontane da escludere affatto l'idea di un sensibile influsso. Sull'area di un rettangolo (Carta n. 1, fig. 30)

(1) Carlini, *Effemeridi astronomiche di Milano pel 1823*, p. 63; Plana et Carlini, *Opérations géod. et astron.*, Vol. II, p. 348.

(2) Schweizer, *Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou*, Vol. XXXV, Anno 1862. Vedi un sunto di questi lavori presso Santini, *Relazione intorno alle attrazioni locali nei dintorni di Mosca* pubblicata nelle *Memorie dell'Istituto Veneto*, Vol. XII.

avente Mosca per centro, esteso da levante a ponente 150 chilometri, e sessanta da mezzogiorno a settentrione, fu in 93 luoghi determinata la latitudine astronomica, e fatta la comparazione colla latitudine corrispondente all'ellissoide normale. I risultati di questo grande ed interessante lavoro sono rappresentati sulla carta come segue. Nell'area occupata dalla grande zona, dove è Mosca, il filo a piombo devia verso il Nord, e più nella parte interna, dove la deviazione

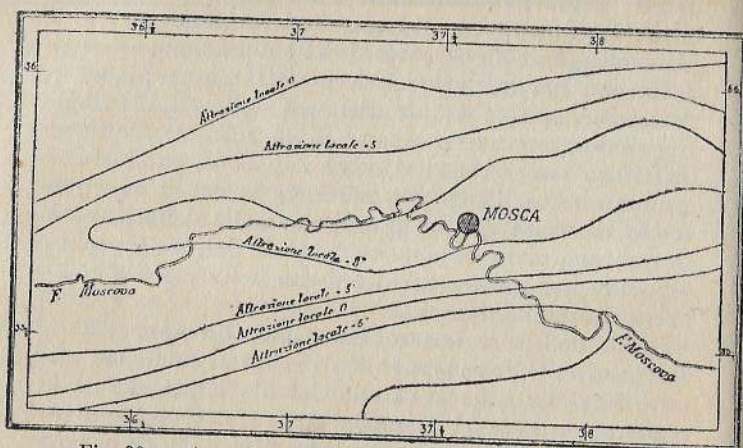



Fig. 30. — Anomalie della verticale e dell'intensità magnetica nei dintorni di Mosca.

può arrivare fino a 10" in alcuni punti. Nella parte meridionale il filo a piombo è attratto verso il Sud, in modo tale che la deviazione può andare fino a 6". Però fra mezzo le due zone di deviazione contraria esiste pure una linea di deviazione nulla, dove il filo a piombo ha la direzione che conviene all'ellissoide normale. Da questa linea il filo a piombo è dunque tratto ad allontanarsi così da una parte come dall'altra. L'ipotesi più plausibile che possa farsi, è quella di una densità deficiente nelle parti della crosta ter-

restre che stanno sotto tal linea. Una specie di gran fossa, avente questa linea per asse, larga venti o trenta chilometri e di molta profondità, non però vuota, ma ripiena di materia meno densa dell'ordinario, e fiancheggiata d'ambe le parti da due argini altrettanto larghi e profondi, ma composti di materia più densa dell'ordinario, il tutto corrente nella direzione ENE a OSO: tale è una delle ipotesi, con cui, secondo lo Schweizer, si potrebbe render conto dei fatti osservati. Dico *una* delle ipotesi, perchè è facile dimostrare che di tali ipotesi, a rigor di termini, se ne potrebbero immaginare infinite. Quello che in ogni caso sembra risultare in modo incontrastabile è, che le anomalie della densità sotterranea intorno a Mosca sono ordinate in forma di lunghe strisce parallele correnti da ENE ad OSO.

Vediamo adunque chiaramente da questi importantissimi studi, che le deviazioni del filo a piombo possono bensì in certe località spiegarsi col mezzo delle prominenze e delle cavità visibili del terreno; ma che una parte forse non meno importante vi hanno le distribuzioni della densità sotterranea. Di questo han dato nuovi documenti le operazioni dei Russi nel Caucaso (1). Fra le stazioni di Wladikawkas al Nord e di Duschett al Sud si eleva fino a 5043 metri la gran massa del monte Kasbek. Secondo il calcolo, l'effetto dell'attrazione della montagna fra le due dette stazioni deve dare una deviazione totale di 56". L'osservazione ha dato 54", cioè una quantità quasi identica. Tale enorme deviazione, la quale è anche un po' maggiore di quella notata da Beccaria fra Andrate e Mondovì, è dunque tutta spiegata dalla protuberanza esterna del terreno. Se però da Duschett, che è ancora sul pendio della montagna, si scende a Tiflis, che è alle falde di essa nella valle del Kur, e si passa ad Elisabettopoli che è al Sud dall'altra parte della

(1) Helmert, *Bericht über Lothabweichungen*, nei Resoconti dell'Associazione Geodetica Internazionale, riunione di Nizza, 1887, pag. 37.

valle, ivi cominciano gravi discordanze, a spiegar le quali bisogna ammettere, che lungo il Caucaso dalla parte meridionale corra una zona di densità deficiente.

Simili varietà di risultati riscontrarono pure gl'Inglesi nelle loro ultime esplorazioni geodetiche in vari punti della catena degli Himalaia (1). Mentre intorno alla stazione di Kaliana l'effetto dell'attrazione di quelle montagne fu trovato quasi nullo, o più esattamente diremo, compensato quasi tutto da difetti di massa sotterranea, e lo stesso pure fu osservato nella valle del Kaschmir: intorno alla stazione di Dehra Dun invece l'attrazione di quella colossale catena fu trovata di 33''. Queste varietà di effetti non si possono facilmente ridurre ad una regola generale, e soltanto lo studio particolare dei medesimi caso per caso può condurre a conclusioni di qualche valore pratico.

Le ricerche delle deviazioni del filo a piombo attraverso al continente Europeo lungo la linea che dalla Danimarca scende fino alla nostra regione presso Mantova hanno condotto ultimamente a notevoli risultati. Il Professor Helmert direttore dell'Istituto Geodetico prussiano ha tentato di dedurre, dalle osservazioni eseguite in Germania e nell'Italia superiore su quella linea, la conformazione approssimativa del geoide lungo di essa (2). Ai confini settentrionali dello Schleswig verso la Danimarca il geoide è segnato dalle acque del Baltico. Nello Schleswig-Holstein e nella parte settentrionale dell'Annover fino al 53° parallelo di latitudine il geoide presenta una piccola rientranza, della quale però la profondità non sorpassa un metro nel luogo dov'è più sensibile. Nel resto della linea dal 53° parallelo fino ad Innsbruck il geoide si eleva progressivamente rispetto all'ellissoide normale e sotto le

(1) *Account of the operations of the Great Trigonometrical Survey of India*, vol. XI, pag. 1055-1056.

(2) Helmert, *Darstellung der Lothabweichungen und des Geoides im Meridian des Brockens*, nei Resoconti dell'Associazione Geodetica Internazionale, 1888, tavola II.

Alpi del Brennero la sua elevazione raggiunge circa 12 metri, dalla quale ridiscende verso Mantova per raggiungere di nuovo il livello del mare Adriatico, che certamente pochissimo differisce (se pur differisce) da quello del Baltico. Come si vede, sono ben poca cosa queste deviazioni della figura effettiva del geoide dall'ellissoide geometrico. Non devesi però tacere, che qui si tratta di piccole particolarità locali, delle piccole rughe del geoide. Ciò non esclude la probabilità di deformazioni ben più importanti. La disposizione dei continenti, agglomerati per grandi masse, e la continuità degli oceani, uno dei quali occupa quasi la metà di tutto il globo, induce a credere che oltre alle piccole deviazioni locali del geoide, come quella che abbiamo descritto, esistano altre deviazioni ben più grandiose di carattere generale, delle quali per ora non si ha ancora alcuna idea precisa, e di cui l'esplorazione è riservata al tempo avvenire.

La maggior parte delle anomalie del filo a piombo fino ad oggi determinate sono anomalie di latitudine, indicano cioè di quanto discorda per un dato luogo la latitudine vera sul geoide dalla latitudine teoretica sull'ellissoide normale. Manifestamente con ciò la ricerca non è completa: perchè le azioni perturbatrici dell'attrazione locale possono manifestarsi anche nel senso della longitudine, siccome avviene per esempio fra Milano e Torino. Ma le anomalie di longitudine richiedono operazioni lunghe e un dispendio enorme di lavoro e di calcolo: e questo spiega perchè non molte determinazioni ne siano state fatte. Una ricerca esatta e completa dell'andamento della verticale in latitudine e longitudine sopra una regione alquanto estesa è pertanto impresa di tale grandezza, che non è da sperare sia frequentemente eseguita in avvenire, malgrado le preziose informazioni ch'essa può dare sulla distribuzione della densità sotterranea e l'interesse grande che può avere per la Geologia. Fortunatamente abbiamo un altro mezzo molto più sem-

plice e molto più pratico per arrivare ai medesimi risultati; questo consiste nell'indagare, invece delle anomalie di direzione della gravità, le anomalie d'intensità di questa medesima forza: il che si fa per mezzo delle osservazioni del pendolo, determinando cioè qual'è la durata del tempo in cui un pendolo di data lunghezza compie una oscillazione sotto l'influsso della gravità. Questa operazione, che fino agli ultimi anni era considerata come una delle più difficili e più complicate dell'Astronomia (a volerla fare colla necessaria precisione), ora, mercè di recentissimi perfezionamenti, è stata ridotta ad un punto insperato di rapidità e di agevolezza.

III.

L'intensità della gravità è misurata dalla velocità che essa è capace d'imprimere ad un grave cadente nel vuoto in capo ad un minuto secondo di tempo medio. Secondo gli esperimenti fatti nel 1893 dal Professor Lorenzoni, qui a Milano un grave cadente nel vuoto, dopo un secondo di tempo acquista una velocità capace di fargli percorrere con moto uniforme, dopo un altro secondo, lo spazio di $9^{m},80567$. Perciò questo numero si adotta come espressione della gravità a Milano (1). E così dicasi di qualsiasi altro luogo. L'intensità della gravità così misurata ha una relazione assai notabile colla lunghezza del pendolo semplice che batte i secondi di tempo medio. La prima si ottiene moltiplicando la seconda pel quadrato del numero π che esprime il rapporto della circonferenza al suo diametro.

---

(1) LORENZONI, *Determinazione della gravità relativa a Padova, Milano e Roma fatta nell'autunno 1893 mediante l'apparato pendolare dello Sterneck.* Atti del R. Istituto Veneto, Tomo V, Serie VIII, 1894.

Se la Terra fosse un ellissoide di forma geometricamente regolare, e di densità se non uniforme, almeno regolarmente distribuita intorno al centro, la gravità avrebbe pur essa un andamento regolare alla superfice: il suo massimo valore sarebbe al polo, dove non è diminuita dalla forza centrifuga; di là andrebbe diminuendo progressivamente fino all'equatore, lungo il quale il suo valore sarebbe minimo. Per tutti i punti di un medesimo parallelo essa avrebbe una uguale intensità. A cagione delle irregolarità di forma e di densità della Terra, tutte queste circostanze si verificano in natura soltanto con una certa approssimazione. Le osservazioni del pendolo, ormai estese a quasi tutte le regioni conosciute della Terra, hanno dimostrato, che anche qui ha luogo in massima una legge simile a quella che converrebbe ad una Terra ipotetica di forma ellissoidale geometrica e di densità regolarmente distribuita; ma la corrispondenza non è esatta, ed in certi luoghi la gravità è evidentemente in eccesso, altrove in difetto. Queste piccole irregolarità residue sono appunto quelle, che possono dar molta luce sulla struttura interna del globo terrestre, almeno nelle parti più vicine alla superfice.

Non può esser qui mia intenzione di fare la storia delle osservazioni sino ad oggi eseguite col pendolo per determinare la figura della Terra: storia curiosa ed interessante, la quale meriterebbe per sè una speciale trattazione. Lasciando da parte le antiche determinazioni del secolo passato, come quelle che non raggiungono il grado di precisione oggi reputato necessario, accennerò soltanto come per le cure di molti fisici ed astronomi del secolo XIX, quali Kater, Biot, Bessel, Peters, Peirce, Sawitsch, e di navigatori di lungo corso, quali Sabine, Foster, Lütke, Freycinet, Duperrey, a cui bisogna aggiungere i geodeti inglesi della Great Trigonometrical Survey dell'India, si possedevano dieci anni fa circa 120 determinazioni della gravità distribuite a larghi intervalli su una parte

dei continenti e su isole di tutti gli oceani. Assoggettando questi dati ad una discussione acuta e comprensiva, il Professor Helmert, capo dell'Istituto geodetico prussiano, determinò la figura di quell'ellissoide regolare, al quale essi si adattano meglio che ad ogni altro nel loro complesso (1). Dal suo calcolo risultò un ellissoide schiacciato ai poli, in cui la lunghezza dell'asse polare sta al diametro equatoriale nel rapporto di 299:300; precisamente la medesima forma che Bessel aveva dedotto dalle misure di archi di meridiano (2). La figura dell'emisfero australe della Terra risultò uguale a quella dell'emisfero boreale: cosa di cui prima sarebbe stato permesso di dubitare, considerando quale grande diversità mostrano i due emisferi, per quanto concerne la distribuzione delle aree continentali ed oceaniche.

Questi calcoli di Helmert hanno poi servito a confermare un fatto, del quale già qualche indizio s'avea ottenuto da lavori precedenti. Nelle piccole isole poste in mezzo degli oceani profondi, a molta distanza dai continenti, la gravità risultò generalmente più grande che nelle stazioni poste sulla costa delle terre maggiori, o nell'interno di esse. Ciò è precisamente l'opposto di quanto si sarebbe dovuto aspettare; infatti l'oceano, che circonda quelle piccole isole, forma un grande strato di densità minore che la densità media degli strati superficiali del continente; dunque in quelle isole, ed in generale su tutta la superfice degli oceani là dove sono molto profondi si dovrebbe aspettare un difetto, anzi che un eccesso rispetto alla gravità normale. L'osservazione diretta mostrando un eccesso, la conclusione più naturale e più semplice è questa, che la crosta solida del globo sotto il fondo degli oceani presenta una densità sensibilmente mag-

(1) Helmert, *Die mathematischen und physikalischen Theorieen der Höheren Geodäsie*, Leipzig, 1884, Vol. II, p. 191-244.
(2) Helmert, *ibid.*, pag. 241.

giore delle croste solide continentali; in modo da compensare, ed anzi da superare, con un eccesso di materia il difetto cagionato dalla densità minore che hanno le acque rispetto alle terre (1).

Un altro fatto risultò pure con molta evidenza dalle ricerche di Helmert, il quale ha col precedente una stretta correlazione ed è: che sotto le grandi protuberanze del globo, dopo fatta ogni riduzione, la gravità risulta minore della normale, accusando così sotto le montagne un difetto di materia ed una densità della crosta terrestre, notabilmente minore che nelle pianure e capace di compensare più o meno l'eccesso di materia rappresentato dalle protuberanze stesse (2).

Questi fatti, della maggior densità della crosta terrestre nelle depressioni occupate dagli oceani, e della minore densità nelle regioni occupate da grandi aree continentali, e dell'altra densità ancora minore nelle regioni coperte da grandi sistemi di montagne, non sono che espressioni in apparenza diverse di una legge unica; la quale si esprime dicendo esser la crosta del globo tanto meno densa, quanto più elevata, tanto più densa, quanto più depressa. Considerando tal legge l'Arcidiacono Pratt richiamò in vigore (3) l'ipotesi delle compensazioni già enunziata, come si disse, dal Boscovich: che astraendo da piccole ineguaglianze locali, in qualunque parte del globo, seguendo la linea verticale fino ad una certa profondità sotto il livello del mare (per esempio fino a 100 o 200 chilometri sotto questo livello) sempre s'incontri nella crosta solida della terra una eguale quantità di materia, le prominenze essendo compensate da densità

(1) Helmert, *Die mathematischen und physikalischen Theorieen der Höheren Geodäsie*, Leipzig, 1884, Vol. II, p. 227, 364 e seg.

(2) Helmert, *ibid.*, p. 228: veggasi inoltre la sua Memoria: *Die Schwerkraft im Hochgebirge*, pubblicata fra quelle dell'Istituto Geodetico prussiano, Berlino, 1890.

(3) Pratt, *On the constitution of the Solid Crust of the Earth*. Philos. Transact. 1871.

minori, e le depressioni da densità maggiori degli strati più prossimi alla superfice. I nuovi fatti a cui dovrò alludere tendono a confermare in modo generale questa ipotesi, quando non sia spinta alle ultime conseguenze e non si voglia applicarla alle minute particolarità. È manifesto infatti, che i trasporti orizzontali di materia operati dalle forze geodinamiche hanno dovuto, nel progresso dei secoli, modificare entro limiti abbastanza estesi la supposta compensazione, dato pure che essa abbia avuto luogo originariamente al primo costituirsi della crosta solida.

A portare la luce necessaria in una questione, che per la storia della Terra è di straordinaria importanza, non basta generalizzare sopra un piccol numero di fatti, i quali qua e là sogliono presentare notabili eccezioni. Ciò non si potrà fare, che congiungendo alle ricerche generali, simili a quelle ora citate di Helmert, l'indagine esatta e particolare del modo di comportarsi della gravità sopra molte regioni degli oceani più o meno profonde e dei mari secondarî, e delle coste, e delle tavole continentali, e finalmente dei grandi altipiani, e dei sistemi di montagne più o meno notabili per altezza, estensione, antichità, natura litologica, e modo di formazione. Le numerose determinazioni della gravità, che si rendono necessarie a conseguire questo fine costituirebbero un problema formidabile, se non soccorressero i grandi perfezionamenti di recente introdotti nelle osservazioni del pendolo dal colonnello Sterneck dell'Istituto Geografico Militare Austriaco; il quale, coll'invenzione di un suo apparato semplice e compendioso, ha trovato modo di render possibile una determinazione completa della gravità con un giorno solo d'osservazioni, senza nulla rinunziare alla precisione necessaria (1). A dare

(1) Sterneck, *Der neue Pendelapparat des k. k. militär-geographischen Instituts.* Fa parte delle *Mittheilungen* dell'Istituto geogr. militare di Vienna, Vol. VII, Vienna 1887.

un'idea del progresso raggiunto da lui in questa materia basti dire, che mentre il Prof. Helmert dodici anni sono non potè porre a base dei suoi calcoli sopra descritti più di 122 determinazioni della gravità sparse su tutto il globo fra i paralleli 80° Nord e 63° Sud; il colonnello von Sterneck e il suo allievo luogotenente von Triulzi della marina austriaca, nello spazio di 8 anni (1887-1894), hanno eseguito nelle province dell'impero austriaco e nella parte orientale d'Italia, ed in alcuni punti della Germania la misura della gravità per più di 500 luoghi, senza contare altre molte osservazioni fatte col medesimo apparato dai valenti e dotti ufficiali della marina austriaca in tutti gli oceani del globo, dallo Spitzberg a Montevideo, e dalle Azzorre alla Nuova Zelanda. L'uso dell'apparato Sterneck fu presto adottato dai geodeti: così che alla fine dell'anno passato venticinque esemplari del medesimo erano già stati costruiti sotto la direzione dell'inventore, uno di essi anche per la Commissione Geodetica italiana, col quale il Professore Lorenzoni Direttore della Specola di Padova ha già avuto occasione di determinare la gravità in vari luoghi d'Italia, ed anche a Milano. Una parte di questi lavori è di data recentissima ed attende ancora la sua pubblicazione: io darò un'idea di quello che è stato fatto fino a tutto il 1894 in Austria ed in Italia dal colonnello von Sterneck e dal luogotenente von Triulzi.

I lavori del von Sterneck (1) comprendono dapprima una fitta rete di stazioni che occupa tutta la Boemia ed una parte della Moravia. In questa regione le

---

(1) Von Sterneck, diverse Memorie nelle *Mittheilungen des k. k. Militär-geographischen Instituts*, specialmente nel Vol. XIII (1894), dove si riassumono i risultati fino a tutto il 1893. Un riassunto anche più comprensivo è stato dato da lui in un breve articolo stampato nel Calendario astronomico dell'Osservatorio di Vienna pel 1896 sotto il titolo: *Die Ergebnisse der neuesten Schwerebestimmungen*, dove si dà conto anche dei risultati ottenuti dal luogotenente von Triulzi, dei quali discorriamo qui più sotto.

deviazioni della gravità dal valore normale non sono molto considerabili; tuttavia già si rivela con sufficiente chiarezza un fatto importante, ed è che una gravità deficiente e quindi un difetto di massa si riconosce principalmente nei nuclei paleozoici posti allo scoperto dalle erosioni, mentre una gravità esuberante e quindi un eccesso di massa si manifestano nei luoghi coperti d'alluvione e specialmente nelle bassure dell'Elba vicino a Podiebrad. Questi risultati possono fino ad un certo punto considerarsi come favorevoli all'ipotesi della compensazione di Boscovich.

La grande depressione dell'Ungheria formata dal bacino del Tibisco e dal bacino medio del Danubio è stata esplorata dallo Sterneck col pendolo secondo lunghe linee in più direzioni; dappertutto vi ha riscontrato una gravità alquanto maggiore della normale. Nell'altipiano della Galizia e in quello della Baviera meridionale invece trovò una leggera deficienza; una assai maggiore, attraverso alla catena dei Carpati; ed infine una molto maggiore ancora nella regione delle Alpi tirolesi e trentine, e tanto maggiore, quanto più grande è l'elevazione media sul livello del mare. Di modo che anche qui si può affermare

Fig. 31. — Anomalie della gravità lungo la via da Mantova a Monaco attraverso le Alpi osservate col pendolo da R. von Sterneck.

in generale, alle grandi depressioni del suolo corrispondere valori maggiori della gravità, indicanti eccesso di materia negli strati sottostanti, ed inversamente alle prominenze corrispondere valori della gravità inferiori alla normale, indicanti difetto di materia negli strati che loro servono di base: difetto di materia che raggiunge il suo massimo sotto le Alpi del Tirolo.

Nella Carta n. 2 (fig. 31) è figurata in profilo la linea di esplorazione percorsa dal von Sterneck col pendolo da Mantova a Monaco attraverso al Brennero (1). La linea orizzontale o base rappresenta il livello del mare. Il profilo più basso rappresenta quello della strada percorsa: da Borgoforte sul Po, dove l'altezza sul mare è appena 21 metri, si sale per Mantova, Ala, Trento, Bolzano, Bressanone al Brennero, all'altitudine di 1373 metri; da cui poi si discende per Innsbruck, Kufstein e Rosenheim a Monaco, alta ancora sul livello del mare 529 metri. Il profilo più alto indica in certa guisa quale sarebbe, lungo tutto questo percorso, la sezione della catena alpina, quando fosse la sua superfice golarerizzata, quando cioè, decapitando le alte cime, se ne facesse servire la materia ad empire il vuoto delle valli sottostanti, in modo da ottenere per tutta la massa montagnosa una superfice unita e di regolare pendenza. Questa è la massa, di cui per ogni stazione si deve valutare l'effetto onde ottenere la gravità ridotta al livello del mare, cioè quel valore della gravità che avrebbe luogo se, rase al suolo tutte le montagne e asportata lontano la loro materia, il pendolo si facesse oscillare nella stessa verticale, ma a livello del mare.

Nella parte inferiore del disegno, in corrispondenza ai due profili sopra descritti, è indicato, per mezzo

(1) Questo passaggio delle Alpi col pendolo è minutamente esposto dal von STERNECK nella Memoria *Die Schwerkraft in den Alpen*, che fa parte del volume XI delle già citate *Mittheilungen* dell'Ist. Geogr. Militare di Vienna.

di una striscia o zona di larghezza variabile, l'andamento dell'eccesso o del difetto di materia, che in ciascun punto della strada percorsa il pendolo ha rivelato. La larghezza della striscia è in ogni punto proporzionale all'eccesso o difetto in questione: ed indica quale grossezza dovrebbe avere uno strato di granito della densità 2½ volte quella dell'acqua, collocato in quel luogo immediatamente sotto il livello del mare, perchè aggiunto compensasse colla sua massa il difetto, o sottratto, l'eccesso rivelato dal pendolo nel valore della gravità e della densità sotterranea. Per esempio, sotto il Brennero, la striscia in discorso indica un difetto di densità e di massa: la sua larghezza sotto quel punto, secondo la scala che sta a fianco del disegno, è di 1150 metri. Con ciò il von Sterneck ha voluto indicare, che per compensare il difetto accennato bisognerebbe, sotto la montagna del Brennero, a partir dal livello del mare, e andando in giù aggiungere uno strato di granito di 1150 metri. Tale è la misura della massa deficiente. È probabile, anzi certo, che la deficienza non sia tutta da imputare agli strati superficiali, e che essa vada ripartita sopra una profondità molto maggiore fino a parecchi chilometri sotto il livello del mare, non potendosi supporre sotto la montagna una densità nulla, e neppure troppo inferiore a quella delle masse sovraincombenti.

Similmente in corrispondenza della stazione di Ceraino sopra Verona è indicato dalla figura un eccesso di massa: misurando la larghezza coll'aiuto della scala, si trova che tale eccesso equivale ad uno strato di granito, che partendo dal livello del mare, andasse fino alla profondità di 820 metri. Tale eccesso non può certamente attribuirsi tutto ai primi strati, la cui densità verrebbe ad essere affatto anormale e quasi doppia dell'ordinario; esso deve intendersi ripartito sopra parecchi chilometri di profondità, non meno di otto o dieci.

Intese le cose a questo modo, il linguaggio della

figura diventa chiaro ed istruttivo quanto è possibile. Sotto l'altipiano di Monaco comincia il difetto di massa, che cresce regolarmente fino a raggiungere il suo valore massimo nel tratto che è fra Innsbruck ed il Brennero. Decresce quindi, ma non molto, fino alle chiuse di Salorno, poi più rapidamente, e diventa nullo un po' a mezzogiorno di Trento. In quel luogo la gravità ridotta al livello del mare è poco diversa dalla normale. Succede un eccesso di materia lungo le ultime Prealpi e in tutta la pianura fin quasi a Mantova. Nell'ultima parte del profilo da Mantova fino a Borgoforte si ha un nuovo difetto di massa, del quale l'estensione ulteriore non è ancora esplorata. Confrontando fra di loro la parte superiore e l'inferiore del disegno risulta a grandi linee questo fatto; che alla massa delle Alpi Retiche corrisponde un difetto di materia, al bassopiano sottostante un eccesso, l'uno e l'altro molto considerabili. Ma la corrispondenza non è esatta da punto a punto: cioè il difetto di massa comincia 50 chilometri più al Nord, che il rilievo montagnoso, e termina anche 50 chilometri più al Nord delle ultime falde settentrionali del sistema Alpino. Il massimo difetto di massa non corrisponde alla massima altezza del profilo delle montagne, ma anch'esso è spostato verso il Nord, trovandosi press'a poco a mezza strada fra il Brennero ed Innsbruck. Rispetto al profilo delle Alpi adunque la regione di materia deficiente è spostata tutta verso il Nord di qualche cosa come 50 chilometri: e probabilmente a questo fatto è legato l'altro della pianura di Monaco tanto più alta che la pianura del Po. Similmente è spostata di 50 o 60 chilometri verso il Nord la zona di materia eccedente: la quale, invece di avere il suo mezzo sull'asse della gran valle padana, termina verso il Sud a poca distanza da Mantova, spingendosi verso il Nord fino all'altezza di Mori e di Riva di Trento. Insomma tutto il sistema delle densità sotterranee è spostato di 50 chilometri verso il Nord rispetto al sistema orografico.

Il ricomparire della densità deficiente proprio sotto il Po verso Borgoforte è probabilmente una conseguenza di tale spostamento. Tale ammanco di densità è da supporre che sia connesso con quello, che fra Milano e Parma è stato accusato dalle deviazioni del filo a piombo osservate da Carlini, e di cui sopra ho fatto menzione. La deficienza sembra che continui fin sotto Milano, dove essa non potrebbe esser compensata che dall'addizione di uno strato di granito di circa 400 metri di grossezza. Verso levante e mezzogiorno è da credere che continui alle falde dell'Appennino e si connetta colle deficienze rivelate dalle osservazioni del luogotenente Triulzi sul versante Adriatico, nelle Romagne, nelle Marche e negli Abruzzi. Si vede di quale alta importanza sian questi primi risultati; e quanto importi di continuare nella pianura del Po le osservazioni del von Sterneck. L'interpretazione geognostica dei medesimi e le conseguenze che se ne posson derivare per la storia fisica della nostra regione sono oggetti ben degni dello studio dei geologi.

Nella Carta n. 3 (fig. 32) sono rappresentati i risultati ottenuti dal von Sterneck nella seconda traversata delle Alpi da lui eseguita da Graz a Vienna per il Sömmering. Qui si nota pure, come nel caso delle Alpi tirolesi, uno spostamento del tratto di densità deficiente. Siccome in questo caso l'altipiano di Stiria è a mezzodì del passaggio, lo spostamento è pure verso mezzodì.

Nella traversata dei Carpazi eseguita dal von Sterneck fra le città di Munkacs e di Lemberg si riconosce un fatto analogo ai precedenti. Sotto i Carpazi vi è difetto di materia, ma questo difetto è spostato dalla parte dell'altipiano di Galizia verso settentrione, mentre la pianura Ungherese, assai più bassa, corrisponde ad un eccesso. Tali circostanze sono indubbiamente connesse col modo con cui si formarono le Alpi ed i Carpazi, e con cui, per successive ablazioni venne asportata alla pianura una parte della loro massa.

Come si vede, qui non si tratta più d'indicazioni vaghe e sommarie simili a quelle che si ottenevano una volta dalle anomalie del filo a piombo. Il pendolo dà notizie assai più precise; non solamente per la maggior facilità di moltiplicarne le osservazioni, ma anche per la natura stessa della cosa. Infatti le anomalie *d'intensità* della gravità in un dato luogo dipendono

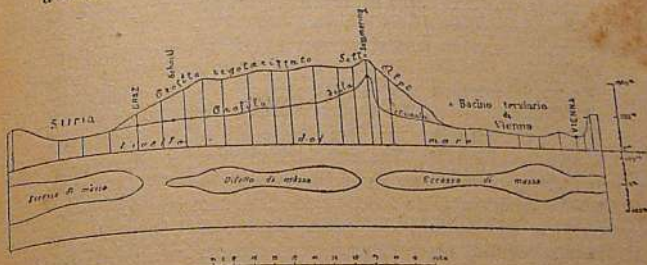



Fig. 32. — Anomalie della gravità lungo la via da Graz a Vienna attraverso le Alpi, osservate col pendolo da R. von Sterneck.

in prima linea dalla densità che gli strati sottostanti hanno entro un raggio non molto grande: le anomalie sotterranee a 20, a 30 chilometri di distanza non hanno più che un influsso secondario. Lo stesso non avviene per quanto concerne le anomalie *di direzione* della gravità. La direzione del filo a piombo non è affatto modificata dalla costituzione del terreno che sta verticalmente sotto, ma dipende principalmente dalla disposizione delle masse laterali, sian desse sotto o sopra il livello del suolo. La minor intensità con cui operano a spostarlo le masse più lontane è compensata in parte da ciò che queste masse lontane sono molto più numerose; onde avviene, che le anomalie del terreno sì interno che esterno, anche a 50 e 100

chilometri di distanza, possono deviare il filo a piombo di notabile quantità. Perciò le anomalie del filo a piombo danno sempre risultati piuttosto indeterminati, troppa essendo l'estensione dell'area su cui possono esser distribuite le masse perturbatrici, e non possono esser interpretate con quel grado di precisione locale, che comportano le indicazioni del pendolo. Il vero è che le une e le altre indicazioni possono in modo utile completarsi reciprocamente.

Un esempio palese di questo si ha nelle anomalie del filo a piombo che il von Sterneck determinò sulla linea Monaco-Mantova attraverso al Brennero (1). A Monaco ed a Mantova, lontano nella pianura, il filo a piombo ha una posizione quasi normale. Lo stesso avviene nell'interno della regione montuosa, a Trento, al Brennero, ad Innsbruck; perchè in questi luoghi le montagne occupando l'orizzonte tutto intiero, le deviazioni in gran parte si compensano. Presso Verona, dove l'orizzonte settentrionale è tutto montagne, l'orizzonte meridionale tutto pianura, il filo a piombo raggiunge la deviazione massima di circa 15" verso settentrione. Parimenti intorno a Kufstein, al limite boreale della regione montana, il filo a piombo raggiunge la sua deviazione massima verso il Sud, 12" a 15". L'andamento di tali anomalie è precisamente quello che poteva aspettarsi dalla considerazione della massa visibile delle montagne. Tutto sembra per questa parte in perfetto ordine; niente farebbe sospettare i difetti e gli eccessi di densità sotterranea che il pendolo ha rivelati. Pertanto lo studio del filo a piombo non può condurre da sè solo a risultati sicuri, e deve in ogni caso esser completato dalle osservazioni del pendolo.

Vengo adesso a dire alcune parole intorno alla gran serie che comprende il rilievo delle anomalie

---

(1) STERNECK, *Die Schwerkraft in den Alpen*, vol. XI delle succitate *Mittheilungen*.

della gravità fatto negli anni 1893-94 sull'Adriatico e sulle regioni circostanti dal nobile Antonio von Triulzi, luogotenente nella Marina Austriaca (1). Essa è rappresentata nella Carta n. 4 (fig. 33). I nomi segnati su questa carta indicano i luoghi in cui dal Triulzi è stato determinato il valore della gravità. Vi si vede una gran corona di stazioni, parte vicine alla costa, parte più dentro terra a qualche distanza: le quali, cominciando dalla ultima estremità della Dalmazia, cingono l'Adriatico intorno intorno fino alla Terra d'Otranto. Coll'aiuto del Gargano, delle isole Diomedee, dello scoglio di Pelagosa, e dell'Arcipelago meridionale Dalmatico, è stata lanciata attraverso all'Adriatico e prolungata attraverso alla penisola italiana un'altra fila di stazioni, che dall'isola di Curzola si stende a SO fino al golfo di Napoli e all'isola di Capri.

Le deviazioni della gravità dal valore normale sono rappresentate per mezzo di un sistema di curve variamente delineate. Una di esse tracciata in nero e più grossa di tutte le altre segna tutti i punti, in cui la gravità osservata ha il suo valore normale. Questa curva della gravità normale circonda, come si vede, il mare Adriatico, per lo più tenendosi entro terra a poca distanza dalla costa: soltanto in due punti si ritira molto entro terra, cioè nella direzione di Padova e di Verona a nord-ovest; e a nord-est nella direzione di Lubiana fra Gorizia e Trieste. Dentro di questa linea, e pertanto per tutto l'Adriatico, la gravità è in eccesso. Le curve segnate ad intervalli indicano gravità eccedenti il valore normale: la prima curva che vien dopo la nera segna l'eccesso di $^1/_5$ di millimetro (o di circa $^1/_{50000}$ della gravità totale), la seconda curva segna l'eccesso di $^2/_5$ di millimetro ecc. Le curve interiori, che corrispondono all'asse

---

(1) *Relative Schwerebestimmungen durch Pendelbeobachtungen, ausgeführt durch die k. k. Kriegs-Marine in den Jahren*, 1892-94. Wien, 1895. Pubblicazione del Ministero Austriaco della Guerra e Marina.

dell'Adriatico, dove la profondità è massima, indicano evidentemente un eccesso di gravità tanto maggiore, quanto maggiore è la depressione del fondo. Nella parte meridionale al di là del Gargano, dove l'Adria-

Fig. 33.

tico è molto più profondo, si manifestano anche eccessi di gravità molto maggiori. Come si vede, ha luogo su questo piccolo mare interno la stessa legge generale che si è osservata sui continenti e sul fondo dei vasti oceani: suolo depresso, gravità crescente.

La regione delle curve di gravità eccedente esce in due luoghi dal perimetro dell'Adriatico, nella dire-

zione di nord-est, e in quella di nord-ovest. L'estensione che ha luogo verso Padova e Verona si connette coll'eccesso di materia scoperto dal von Sterneck sotto le Alpi di Trento e nella pianura sottostante fin sotto Mantova.

Al di fuori della linea nera di gravità normale si estendono entro le terre circostanti le regioni di gravità minore della normale e di densità deficiente del sottosuolo, occupata alla superfice dalle montagne Illiriche, dalle Alpi Venete, e dalle falde orientali dell'Appennino, dalle Romagne fino all'Abruzzo. In questa regione sono segnate da curve punteggiate le deficienze di gravità di $^1/_5$, $^2/_5$, $^3/_5$ di millimetro, ecc., a partir dalla curva nera. Tale regione si estende verso il nord su tutta la massa Alpina fino a Monaco, come si è veduto; in Italia arriva almeno fino a Milano, ma lungo la penisola non occupa una grande larghezza, perchè già a Roma e a Fabriano si ha gravità eccedente. Manifestamente la struttura dell'Italia centrale offre, rispetto alla gravità e alla densità, variazioni irregolari, delle quali soltanto potremo renderci conto quando le belle operazioni del von Triulzi siano estese a tutta la penisola.

Notabile è la deviazione enorme in più, che la gravità assume nelle Puglie, nelle terre di Bari e di Otranto, e sulle rive della Campania. Tali deviazioni sono in tutto comparabili a quelle che dissi aver luogo nelle maggiori profondità dell'Oceano e costituiscono una singolarità della più alta importanza. A Viesti ed a Bari, nelle isole d'Ischia e di Capri, la gravità eccede il valore normale di un millimetro e due terzi, che è quanto dire di circa $^1/_{6000}$ della gravità totale, un gramma intero sopra sei chilogrammi. Tutto il sottosuolo della Bassa Italia, almeno fin dove arrivano le osservazioni, sembra composto, fino a grande profondità, di materiali di densità eccezionale.

La serie di stazioni condotta a traverso della penisola dal Gargano a Capri è pur degna d'osservazione.

Ad Ariano, che è proprio sull'asse della penisola nel luogo di massima altitudine, corrisponde la minima gravità della serie: dalle due parti decrescendo l'altitudine verso l'Adriatico e verso il Tirreno, la gravità cresce. Ciò è rappresentato bene dal profilo descritto sull'angolo inferiore sinistro della carta, dove il poligono nero indica il profilo delle altitudini, e la curva dà la deviazione della gravità dal valore normale. Anche qui dunque vale la solita legge; e si ripete qui in piccola scala ciò che è stato osservato dal comandante Defforges attraverso l'America settentrionale, in una serie di sette determinazioni da lui fatte fra Nuova York e San Francisco. Le due stazioni più elevate di Denver e del Lago Salato hanno mostrato come al consueto, i minori valori della gravità.

Non spenderò altre parole per dimostrare il sommo interesse di questi risultati. Non vi ha dubbio che fra non molti anni le osservazioni del pendolo, ora rese così facili e così rapide, saranno estese a tutte le regioni ove fiorisce la civiltà di tipo europeo. Allora resterà il desiderio di poter misurare l'intensità della gravità anche su quelle vaste estensioni degli oceani, dove mancano isole, o almeno scogli capaci di offrir base sufficiente per tali osservazioni. Già alcuni tentativi furono fatti per poter misurare la gravità sull'Oceano senza uscir dalla nave; tentativi, nei quali si misura la gravità non più colle oscillazioni del pendolo, ma mettendola in equilibrio con un'altra forza, per esempio con l'elasticità di una massa di gas, come nel sifone manometrico di Mascart, o con l'elasticità di una lamina metallica, come nel *batometro* di Siemens. Per quanto posso sapere, i risultamenti finora ottenuti con questi apparati non hanno ancora corrisposto alle speranze: il che tuttavia non significa, che così abbia sempre ad esser per l'avvenire. Per conoscere completamente la figura della Terra, bisogna pure esplorare, in un modo o in un altro anche la superfice occupata dagli oceani.

IV.

Restami ora a dare alcuni cenni intorno a quelle anomalie del magnetismo terrestre, che sembrano strettamente connesse colle anomalie della gravità e della densità superficiale del globo. Tal connessione si poteva già sospettare *a priori* e fu sin dal 1849 indicata da Kreil (1), il quale notò che le Alpi sembravano esercitare una perturbazione sensibile sull'andamento regolare delle linee di uguale declinazione magnetica: e confermò più tardi questa sua congettura con altre ricerche pubblicate nell'anno 1862 (2). Varî altri investigatori espressero di poi la medesima opinione, che fra la struttura geognostica della Terra e il magnetismo esista una correlazione incontestabile, quantunque di carattere non ancora ben definito. Nel 1887 il dottor Naumann raccolse tutte le osservazioni fin allora pubblicate su tale argomento (3), aggiungendo quelle veramente interessanti che egli ebbe occasione di fare nella sua qualità di direttore della Carta geologica del Giappone. La grande isola di Nippon è traversata verso la metà della sua lunghezza, e divisa in due parti quasi uguali da una zona di terreno vulcanico occupante il vacuo di una grande spaccatura detta *Fossa magna*, piena di bocche ignivome, che da una parte fa capo al celebre vulcano Fusiyama. Ora le curve magnetiche rilevate su tutta

---

(1) Kreil, nei *Denkschriften der k. k. Akad. der Wissenschaften in Wien*, Vol. I, 1850.

(2) Kreil, nei *Denkschriften der k. k. Akad. der Wissenschaften in Wien*, Vol. XX, 1862.

(3) Naumann, *Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde*, Stuttgart, 1887.

l'estensione dell'Arcipelago dai due astronomi giapponesi Sekino e Kodasi, mostrano, al traversar quella fossa, una piegatura di significato non dubbio.

Ma il documento forse più importante che si possa addurre in questa materia è fornito da un lavoro del signor Fritsche, pubblicato nel 1893 (1). Il Fritsche elesse a campo delle sue ricerche quegli stessi dintorni di Mosca, su cui 40 anni prima lo Schweizer aveva investigato le anomalie del filo a piombo. Ei determinò gli elementi del magnetismo terrestre (declinazione, inclinazione, intensità) per 31 stazioni sparse in tutta la regione già percorsa dallo Schweizer e dai suoi collaboratori; e combinando i suoi risultati con analoghe osservazioni già fatte prima in 17 luoghi della medesima regione dall'ingegnere capitano Meyen, ne dedusse per tutto quello spazio le anomalie, che gli elementi magnetici presentano rispetto a quelli che risulterebbero dall'andamento generale e regolare delle regioni circostanti. Ora per tutti gli elementi, cioè tanto per l'intensità totale del magnetismo, quanto per la declinazione e per l'inclinazione, le anomalie sono disposte su lunghe linee dirette da ENE ad OSO, precisamente come constatò lo Schweizer per le anomalie del filo a piombo. Per mostrar quanto tale coincidenza sia intima e completa sopra una Carta analoga a quella che rappresenta le anomalie del filo a piombo esplorate dallo Schweizer (2) ho indicato le anomalie dell'intensità magnetica, determinate dal signor Fritsche. Ora mi risultò evidente una corrispondenza fra l'andamento di tali anomalie e quello delle linee che indicano le variazioni del filo a piombo. Se tale coincidenza fosse unica, si potrebbe ancora dubitare ed attribuirla al caso. Ma

---

(1) Fritsche, *Die magnetische Lokal-Abweichungen bei Moskau und ihre Beziehungen zur dortigen Local-Attraction*. Si trova nel *Bulletin de la Soc. Imp. des Naturalistes de Moscou*, 1893.

(2) Una tale carta venne pure esposta nella sala durante il discorso.

altre analoghe coincidenze ed egualmente evidenti hanno luogo anche per la declinazione e l'inclinazione dell'ago magnetico, coincidenze che sulla carta non si potevano indicare senza confusione. Così che nessun dubbio può rimanere circa la realtà di una stretta connessione fra le anomalie della densità sotterranea e le cause perturbatrici del magnetismo terrestre in questo luogo. Abbiamo qui pertanto dal filo a piombo un indizio della densità delle masse perturbatrici, e dall'ago magnetico un indizio della loro qualità fisica.

L'insieme dei fatti che ho esposto costituisce un esempio veramente notevole dell'aiuto che le scienze in apparenza più diverse di scopo e di metodo possono prestarsi reciprocamente, quando i loro progressi si vanno intrecciando e i fatti conquistati dall'una servono ad illustrazione dell'altra. Qui l'Astronomia dà e la Geologia riceve; non mancano altri punti di contatto fra queste due scienze in cui le parti sono invertite; per esempio nella gran questione del moto secolare dei poli alla superfice della Terra. Tali correlazioni fra scienza e scienza si son venute negli ultimi tempi moltiplicando e rafforzando, ed han dato luogo alla creazione di nuove scienze intermedie, quali son per esempio l'Astrofisica e la Geodinamica. La Geografia poi, quale adesso l'intendiamo, offre un ricamo vario ed immenso di cose, a formar il quale concorrono a vicenda gli studi combinati delle scienze matematiche, fisiche, naturali, storiche ed antropologiche; di tutte essa serba il culto nel suo grandioso Panteon, a tutte qualcosa dà, e da tutte molto riceve. L'accusa, che da varie parti si va facendo alle scienze della Natura, di procedere isolate e sconnesse (1), non è mai stata tanto ingiusta e tanto falsa quanto

(1) Quest'accusa fu ripetuta ancora da Edoardo Hartmann, il filosofo dell'Incosciente nella sua recentissima pubblicazione portante per titolo: *Tagesfragen*, Berlin, 1896, pag. 187.

appunto adesso. Ne è prova l'assemblea, davanti alla quale ho avuto l'onore di parlare. Noi siamo convenuti in questa sala, uomini di diversissimi studi, benchè tutti animati dallo spirito d'investigazione della Natura. Io non so vedere quale intento più nobile, più grande, più utile potrebbe raccoglierci qui, se non quello di stringere e di estendere vieppiù i legami fecondi che connettono fra di loro le varie scienze da noi rappresentate.

XVI.

COME I GRECI ARRIVARONO AL PRIMO CONCETTO DEL SISTEMA PLANETARIO ELIOCENTRICO DETTO OGGI COPERNICANO

Dal periodico *Atene e Roma*, « Bullettino della Società Italiana per la diffusione e l'incoraggiamento degli studi classici ». — Anno I, N. 2. — marzo-aprile 1898.

I.

Le speculazioni dei filosofi e degli astronomi greci intorno alla disposizione generale dell'universo, ed intorno al movimento dei corpi celesti, costituiscono uno dei capitoli più interessanti e più belli nella storia dell'ingegno umano. Veramente la scarsità dei documenti, e lo stato imperfettissimo della tradizione, hanno reso assai difficile il rendersi conto dei vari gradi, per cui dalle più rozze e primitive costruzioni il genio ellenico seppe, in meno di due secoli, elevarsi all'idea del sistema eliocentrico, di quello cioè che più tardi fu rimesso in onore da Copernico. Tuttavia grazie alle recenti fatiche d'alcuni dotti investigatori, allo studioso della storia astronomica è concesso di seguire, per lo più con qualche continuità, l'evoluzione delle idee dei Greci intorno a questo argomento. Certe lacune rimangono però, le quali finora non fu dato di supplire con piena soddisfazione, ma non è dubbio che l'esame più diligente d'ogni speciale questione possa produrre ancora qualche maggior luce, e condurre ad un grado di probabilità più soddisfacente: in particolare, se alla critica filologica ed istorica dei testi antichi (alla quale giustamente si è data e si dovrà sempre dare primaria importanza), si aggiunga un'altra critica non meno necessaria, della quale l'abito si può acquistare soltanto colla diuturna e meditata osservazione di quei medesimi fenomeni, che agli antichi sapienti servirono già a stabilire le loro ipotesi astronomiche.

Fra tali questioni ancora capaci di ulteriore dilucidazione, nessuna sembra più importante di quella segnata in fronte al presente scritto; e nessuna mi pare più degna di essere studiata colla maggior cura possibile. Noi vediamo infatti in Atene, intorno all'anno 330, Aristotele ancora affaticarsi con gli astronomi Callippo e Polemarco, per adattare il sistema omocentrico di Eudosso alle proprie teorie fisiche dell'universo. Cinquanta o sessant'anni dopo, Aristarco di Samo proclama al mondo, come ipotesi probabile, il sistema astronomico che poi fu detto di Copernico! Quale fu la rapida evoluzione di idee, che in tempo così breve produsse così straordinario risultato? Ma vi ha di più. Il grandioso concetto non trova terreno adatto a metter profonde radici; i matematici greci, invece di appoggiarlo, lo respingono; e quindi, quasi subito dopo annunziato, scompare, lasciando di sè scarsa ed oscura memoria. Per quali cause ed in qual modo è ciò avvenuto? A tali questioni io mi sono industriato per molti anni di trovare qualche plausibile e probabile risposta; risposta che non può essere semplice, complicata com'è di questioni secondarie, ed intessuta di elementi astronomici, geometrici, istorici, ed anche filologici. Vorrei ora tentare di riassumere in modo chiaro e breve i risultati principali, senza entrare in prolisse e spinose disquisizioni, che saranno riservate ad altra pubblicazione più estesa.

Lasciando da parte le costruzioni cosmiche primitive, quali si narra fossero quelle di alcuni fra i più antichi filosofi, e ancora richiamano alla mente il mondo di Omero e di Esiodo; troviamo le prime razionali concezioni dell'universo presso Anassimandro, il quale primo osò concepire la Terra come un corpo isolato da tutte le parti e sospeso nel centro del mondo; e presso Pitagora, del quale si dice che già osasse attribuirle la forma sferica. Idee ardite e sublimi! che nulla cedono in pregio scientifico alle più brillanti scoperte dei moderni. Da quell'epoca (VI secolo avanti

Cristo) vediamo succedersi, circa la struttura generale dell'universo, concetti sempre meglio determinati, con tendenza sempre più decisa all'accurata osservazione del cielo, e sforzi di genio talvolta veramente mirabili per giungere ad ipotesi geometriche capaci di rappresentare esattamente i fenomeni osservati. In questo periodo, che si chiude con Tolomeo (140 di Cristo), e colla multiforme ed artifiziosa compagine dei cieli descritta nell'Almagesto, sono a distinguere nella speculazione astronomica tre stadi principali di evoluzione, rappresentati da altrettante forme caratteristiche di teoria; forme che non già si succedono a caso, ma trovansi nel tempo ordinate successivamente secondo il loro ordine logico, per modo che l'una di esse non compare, se non quando l'esperienza dei fenomeni ha dimostrato l'insufficienza della forma precedente, e la necessità di introdurre sul corso degli astri ipotesi nuove e capaci di adattarsi meglio ai risultamenti delle nuove e più perfette osservazioni.

Al primo stadio appartengono i sistemi dei filosofi da Anassimandro fino a Platone, incluse le sfere omocentriche di Eudosso. In questi si pone per principio che i movimenti dei corpi celesti debbono tutti essere rappresentati da rivoluzioni circolari ed uniformi intorno ad un centro unico, che è quello dell'universo; potendo del resto tal centro essere occupato dalla Terra o da altra cosa.

Nei sistemi del secondo stadio si ammettono anche movimenti circolari intorno a centri diversi dal centro del mondo; ma si pone la legge, che tali centri secondari siano occupati da qualche astro principale. Quindi si stabiliscono due categorie di astri; l'una di astri *primari*, circolanti intorno al centro del mondo; l'altra di astri secondari, circolanti intorno ad alcuno dei primari, in forma di *satelliti*. E tali furono i sistemi di Eraclide Pontico e d'Aristarco Samio.

Nei sistemi del terzo stadio si pone per base, che gli astri possano anche circolare di circolazione se-

condaria, non intorno ad astri primari, ma intorno a centri ideali privi di ogni fisica entità; potendo del resto questi punti essere fissi, od anche avere una circolazione primaria intorno al centro del mondo. E tali furono i sistemi fondati sugli eccentri e sugli epicicli, da Apollonio di Perga fino a Tolomeo ed ai suoi seguaci e commentatori.

II.

Finchè nell'osservazione dei movimenti celesti si considerarono soltanto le linee principali dei fenomeni, non tenendo conto delle minori variazioni e delle anomalie dei movimenti, bastarono alla speculazione filosofica i sistemi della prima specie; nei quali la durata dei periodi e la giacitura delle orbite apparenti rispetto ai poli del mondo costituivano tutti i principali elementi. Tali furono i sistemi dei più antichi cosmologi, specialmente quelli di Anassimandro, di Pitagora e di Parmenide, ed ancora più tardi quelli di Anassagora, di Leucippo e di Democrito. Nei quali tutti si supponeva che il centro comune delle orbite dei corpi celesti fosse la Terra, sospesa ed isolata da tutte le parti, e collocata nel mezzo.

Alla stessa categoria appartiene il sistema pitagorico, che fu, se non immaginato, almeno divulgato da Filolao, e perciò è conosciuto sotto il suo nome. In questo si poneva al centro del mondo non la Terra, ma il principio animatore dell'universo, a cui si davano i nomi di *focolare del mondo*, di *casa degli Dei*, di *custodia di Giove*, ed era anche considerato come l'altare, il vincolo comune e la misura della Natura; la sede insomma dell'attività cosmica, operante a distanza per mezzo delle leggi dell'armonia e dei numeri. Intorno ad esso si supponeva circolassero dieci

corpi divini, cioè, seguendo l'ordine dal centro alla circonferenza: 1.° la Terra e l'Antiterra secondo il piano dell'equatore celeste nello spazio di un giorno; 2.° la Luna nello spazio di un mese, il Sole nello spazio di un anno, i cinque pianeti ciascuno nei suoi propri periodi, tutti nel piano dello zodiaco; 3.° da ultimo la sfera stellata con moto lentissimo (1). Così Filolao spiegava in modo approssimato il movimento diurno comune a tutti i corpi celesti, ed i movimenti speciali apparenti del Sole, della Luna e dei pianeti, senza supporre altro centro di movimenti, che il focolare dell'universo. Tal modo di interpretare le principali apparenze degli astri piacque a molti dei contemporanei di Socrate e di Platone, ed ancora ai tempi d'Aristotele conservava molti fautori, siccome egli stesso ci narra.

Gli schemi del mondo descritti da Platone nel X della *Repubblica* e nel *Timeo* appartengono alla medesima specie. Intorno alla Terra, immobile al centro ed intorno all'asse del mondo, teso da un polo all'altro, si aggirano in orbite concentriche la Luna, il Sole, Venere, Mercurio, Marte, Giove, Saturno e la sfera delle fisse. Questi movimenti nel X della *Repubblica* sono prodotti da un gran meccanismo, per azione di un principio designato da Platone sotto i simboli della Necessità e delle Parche; nel *Timeo* è l'anima dell'universo che tutto lo pervade dal centro alla circonferenza, e variamente distribuisce la sua azione, manifestandola con diversi effetti.

Ai tempi di Platone però le osservazioni degli astronomi, e specialmente quelle di Eudosso, avevano già fatto vedere che i movimenti dei cinque pianeti

---

(1) Una più completa esposizione del sistema di Filolao può vedersi nella mia Memoria *I Precursori di Copernico nell'antichità*, stampata fra quelle del Reale Istituto Lombardo, vol. XII.

Vedi pure GIOVANNI SCHIAPARELLI, *Scritti sulla Storia della Astronomia Antica*. Parte prima: «Scritti editi», Tomo I. — Bologna, Zanichelli).

lungo lo zodiaco non potevano più essere considerati come uniformi; molto studio si era fatto delle loro stazioni e retrogradazioni, ed anche delle deviazioni trasversali, per cui si allontanano ora a destra ora a sinistra del cerchio principale dello zodiaco. Platone non ignorava tali fatti, e narra Eudemo (il quale venne una generazione dopo di lui, e fu il più antico storico dell'astronomia) che appunto indotto da quelli propose ai geometri il problema non facile di trovare «con quali supposizioni di movimenti regolari ed ordinati si potesse rendere conto delle anomalie planetarie». Il problema fu sciolto da Eudosso Cnidio (verso il 360) per mezzo del sistema delle *sfere omocentriche*, vero miracolo di elegante simmetria e di sottile speculazione geometrica. Secondo Eudosso il movimento di ciascun pianeta era vario ed irregolare soltanto in apparenza; in realtà risultava dalla combinazione di più movimenti regolari prodotti da altrettante sfere per mezzo delle loro rotazioni uniformi intorno alla Terra, posta immobile al centro dell'universo. Queste sfere erano concentriche alla Terra, e incastrate le une entro le altre per modo che ognuna di esse partecipava ai movimenti delle superiori; e li comunicava alle inferiori, aggiungendovi un movimento suo proprio. In tal modo riusciva Eudosso a render conto non solo dei movimenti generali dei pianeti, ma anche delle loro anomalie sopra accennate, sempre serbando il principio di non ammettere più che un solo centro. Di tutti i sistemi cosmici ordinati secondo tal principio, quello d'Eudosso fu senza paragone il più perfetto, specialmente dopo le modificazioni e le correzioni che l'astronomo Callippo di Cizico v'introdusse intorno all'anno 330. Con esso l'astronomia e la geometria avevano fatto tutto ciò che era umanamente possibile per spiegare i fenomeni planetari in tutta la loro apparente complicazione, senza punto deviare dalla condizione imposta della assoluta omocentricità. Aristotele vide in esso il modo di rap-

presentare con un solo unico e grandioso meccanismo tutta la compagine dei cieli e di far valere così il principio fondamentale della sua dinamica cosmica, secondo cui la forza motrice dell'universo doveva essere collocata alla circonferenza e propagarsi verso il centro. E le sfere omocentriche di Eudosso furono adottate come base delle speculazioni cosmologiche e fisiche delle scuole aristoteliche nel primo periodo della loro esistenza (1).

III.

Tuttavia fin dal primo apparire delle sfere omocentriche si elevarono contro di esse alcune difficoltà, delle quali la più formidabile era questa: che ogni astro essendo condotto in giro sopra una superfice sferica concentrica alla Terra, la sua distanza da questa ed il suo splendore (secondo le idee di quel tempo) avrebbero dovuto rimanere assolutamente invariabili; mentre invece dalle osservazioni lo splendore di alcuni risultava molto diverso in diversi tempi, specialmente per Marte e per Venere. Già allo stesso Polemarco, il quale aveva imparato il sistema omocentrico dalla voce d'Eudosso, questo fatto non era intieramente sconosciuto, e neppure era sconosciuto ad Aristotele, il quale ne discorreva nei suoi *Problemi fisici* oggi perduti. Se, ed in qual modo eludessero la diffi-

(1) Notizie più complete sul sistema delle sfere omocentriche si trovano in una Memoria stampata fra quelle del R. Istituto Lombardo (vol. XIII) col titolo: *Le sfere omocentriche di Eudosso, di Callippo e di Aristotele.*

Vedi pure GIOVANNI SCHIAPARELLI, *Scritti sulla Storia della Astronomia Antica.* Parte prima: «Scritti editi», Tomo II. — (Bologna. Zanichelli).

coltà, non è più possibile sapere. Ancora molto tempo si continuò a disputare su questo argomento; si cita in proposito il matematico Aristotero (che visse intorno al 300 e fu maestro del poeta Arato), contro il quale scrisse di ciò una dissertazione un altro matematico più noto, Autolico di Pitana; e sembra che il tentativo fatto da quest'ultimo per sciogliere la difficoltà non fosse molto felice. L'impossibilità di spiegare colle ipotesi d'Eudosso la variazione dello splendore apparente di alcuni pianeti fu la causa principale, per cui in progresso di tempo quelle ipotesi furono abbandonate anche da quegli stessi Peripatetici, i quali da principio le avevano accolte con tanto favore. È così si riconobbe subito, essere impossibile spiegare tutti i fenomeni celesti col mezzo di moti circolari ed uniformi intorno ad un solo centro. Esaurite tutte le supposizioni che tal principio poteva fornire, diventò necessario introdurre qualche principio nuovo.

Un tal principio fu suggerito dallo studio dei movimenti di Mercurio e di Venere, e dalle variazioni notate nel loro splendore apparente. Le loro digressioni alternate e regolari a destra ed a sinistra del Sole, che fa apparire questi pianeti nell'aspetto or di stelle mattutine or di stelle vespertine, e le vicende della loro luce (notabili specialmente in Venere), con evidenza quasi intuitiva spingevano a supporre che il centro della loro circolazione fosse, non già la Terra, ma un altro punto collocato nella direzione del Sole; e quale altro punto poteva essere questo, fuor che il Sole medesimo? L'idea di assumere come centro di queste e d'altre circolazioni celesti un semplice punto ideale privo d'ogni fisica entità, dovette allora sembrare, come ancora a noi sembrerebbe, assurda.

Questo passo importante nella speculazione astronomica fu fatto, siccome è storicamente attestato, da Eraclide Pontico, filosofo originale ed indipendente, che aveva frequentato tutte le scuole e conosciute

tutte le filosofie di quei tempi, e non s'era attaccato esclusivamente a nessuna; le cui opinioni ardite e nuove eran fatte per scandalizzare il vulgo letterato di quei tempi, e gli procurarono infatti la riputazione di uomo bizzarro, e il nome di παραδοξολόγος. Leggendo la breve biografia che ne abbiamo nella compilazione di Diogene Laerzio, si crederebbe quasi ch'ei fosse ciò che oggi noi diciamo un mattoide; ove non sapessimo qual compilatore era Diogene, ed a quali fonti torbide soleva pescare. La verità è che Platone lo onorava della sua conversazione e della sua amicizia, al punto da confidargli la direzione della scuola durante l'ultimo viaggio ch'ei fece in Sicilia; che Cicerone era lettore assiduo dei suoi scritti; che Plutarco (1) lo metteva in linea coi più grandi pensatori, annoverandolo insieme con Socrate, Aristotele, Pitagora, Protagora, Teofrasto ed Ipparco. Uno dei suoi paradossi fu la rotazione della Terra, che egli ammetteva dietro l'esempio di Ecfanto Pitagorico, pur supponendola fissa nel centro del mondo.

Un altro di questi paradossi è quello che stiamo esponendo. Eraclide Pontico è stato il primo a *vedere*, che Mercurio e Venere si aggirano intorno al Sole in orbite speciali esteriori alla Terra; ed a comprendere che con una tale circolazione si poteva dare dei loro fenomeni assai miglior conto, che non si potesse fare colle sfere di Eudosso. Così s'introduceva per la prima volta nell'astronomia il concetto di far muovere con circolazione secondaria un astro intorno ad un altro girante intorno al centro del mondo con circolazione primaria. Mercurio e Venere diventavan satelliti del Sole e lo seguivano nel suo giro annuale intorno alla Terra.

(1) *Non posse suaviter vivi secundum Epicurum*, c. 2.

IV.

Come dalle difficoltà concernenti il moto e lo splendore di Venere ebbe origine l'idea di collocare nel Sole il centro delle orbite dei pianeti che noi chiamiamo *inferiori*, Mercurio e Venere; così dalle difficoltà che presentava lo studio di Marte trassero origine analoghe indagini per i pianeti da noi detti *superiori*, Marte, Giove e Saturno, e si venne alla conclusione che anche per questi fosse da porre nel Sole il centro dei circoli da loro descritti.

A chi segue con qualche attenzione il corso di Marte lungo lo zodiaco, non possono sfuggire le grandi mutazioni di splendore che hanno luogo in quel pianeta. Nel suo massimo fulgore esso brilla più di qualunque stella di prima grandezza, Sirio non escluso. Quando s'immerge la sera nel crepuscolo od emerge la mattina dall'aurora, appare come una piccola stella di terza o di quarta grandezza. Ma in certe configurazioni esso può tanto accostarsi alla Terra, da vincere lo splendore anche di Giove; allora è, dopo Venere, la più fulgida stella del cielo. Queste grandi variazioni di splendore apparente erano ben note agli osservatori greci; interpretate da loro come indizio di corrispondenti variazioni nella distanza, erano considerate come l'argomento più potente contro l'ipotesi omocentrica di Eudosso. Essi non tardarono ad avvedersi che le epoche del massimo splendore si rinnovano ad intervalli di circa ventisei mesi, e sempre coincidono colle *opposizioni*: sempre cioè hanno luogo nelle epoche, in cui il pianeta occupa nello zodiaco il luogo opposto al Sole. Facile era concludere, che il punto dell'orbita più vicino alla Terra è ogni volta quello che si trova in direzione opposta al Sole.

Per chi volesse dunque rappresentare (secondo il concetto sempre fino allora mantenuto invariabilmente dagli astronomi e dai fisici) il moto di Marte con un giro circolare ed uniforme, la prima conseguenza era questa: che il centro di tale moto circolare doveva essere collocato fuori della Terra. Così per la prima volta nelle speculazioni cosmologiche fu introdotto il concetto dell'*eccentrico*. Ma se in un tal circolo il punto più vicino giace in direzione opposta al Sole, il punto più lontano, e con esso anche il centro dell'eccentrico, deve giacere nella direzione stessa del Sole. Dunque anche qui il centro del circolo descritto da Marte doveva trovarsi costantemente in un punto della linea condotta dalla Terra nella direzione del Sole; e quale altro punto poteva essere questo, fuor che il Sole medesimo già riconosciuto qual centro dei giri di Mercurio e di Venere? L'orbita di Marte aveva dunque il suo centro, non nella Terra fissa, ma nel Sole mobile, come Mercurio e Venere; come le orbite di Mercurio e di Venere, essa seguiva il Sole nella sua rivoluzione annua intorno alla Terra.

Questa nuova ipotesi, studiata nei suoi effetti, mostrò di corrispondere bene alle osservazioni di Marte, ciò che con l'ipotesi delle sfere omocentriche non era mai stato ottenuto. E non solo alle osservazioni di Marte, ma ancora a quelle di Giove e di Saturno. Anche a questi fu assegnato pertanto il proprio eccentrico mobile, e il Sole come centro del movimento. Così mentre invano i fautori delle sfere omocentriche si applicavano per adattarle ai fenomeni, da uno studio più accurato di questi nacque per la prima volta l'idea di porre il centro comune delle orbite dei cinque pianeti minori nel Sole; la Terra rimanendo centro dell'universo, e centro ancora della rivoluzione mensile della Luna, e della rivoluzione annua del Sole. Questo è lo schema conosciuto sotto il nome di *sistema di Ticone*, dal nome dell'astronomo che lo inventò per la seconda volta alla fine del se-

colo XVI; schema che fu per qualche tempo seguito da quelli, che ancora dopo Copernico volevano ad ogni costo mantenere l'immobilità della Terra.

Noi abbiamo detto che di questo nuovo concetto la parte riguardante Mercurio e Venere è dovuta ad Eraclide Pontico. Chi sia stato il primo ad estenderlo anche ai tre pianeti superiori, non risulta chiaramente dalle poche notizie che abbiamo. Solo è certo che fu, se non Eraclide Pontico stesso, un contemporaneo di lui; ed è certo ancora, che Eraclide conobbe questa estensione: infine è più che probabile, che egli l'abbia adottata. Vi aggiunse di proprio la rotazione della Terra intorno al suo asse, come abbiam detto.

V.

Così dunque, verso i tempi di Filippo Macedone, od al più tardi d'Alessandro Magno, erano i Greci pervenuti a rappresentarsi i movimenti planetari secondo il sistema che poi fu detto di Ticone; anzi ne avevano già sorpassato il concetto, introducendovi la rotazione della Terra, che da Ticone fu poi respinta. Ma dal sistema di Ticone a quello di Copernico è noto esser brevissimo e facilissimo il passaggio. La questione è ridotta a considerare il moto relativo del Sole e della Terra.

Da una parte abbiamo la Terra con un satellite unico, la Luna; dall'altra il Sole, corteggiato da cinque satelliti, cioè dai cinque pianeti minori, de' cui giri esso forma il centro. Se la Terra supponiamo fissa, ed il Sole facciamo che giri intorno ad essa di moto annuo, sempre restando centro alla circolazione dei cinque pianeti, e portando le orbite di questi con sè; abbiamo il sistema di Ticone. Se invece poniamo fisso il Sole e con esso il centro delle orbite dei cinque pianeti,

e facciamo muovere intorno ad esso la Terra, restando questa sempre centro all'orbita della Luna, e portandola con sè nel suo giro annuale intorno al Sole; avremo il sistema di Copernico. Nel quale la Terra, perdendo il suo posto centrale nel mondo, viene arruolata nella schiera dei pianeti, null'altro distinguendola dagli altri, che l'unico satellite. Certo quest'ipotesi dovette sembrare molto ardita a chi primo la concepì, come quella che includeva la circolazione della Terra intorno al centro dell'universo; ma una tal circolazione non era idea interamente nuova, e le menti vi erano già avvezzate dal sistema di Filolao, dove si fa girare la Terra intorno al fuoco centrale.

Questo nuovo grado nella scala delle deduzioni non era dunque difficile ad essere superato; e lo fu infatti ancora vivente Eraclide Pontico. Egli stesso ci dà questa notizia, in un breve frammento, che per somma fortuna ci è stato conservato, e che costituisce uno dei documenti più importanti nella storia dell'astronomia (1). Da esso apprendiamo, che non solo l'idea copernicana era stata afferrata, ma ancora si era giunti a comprendere, che per mezzo di essa si poteva dare una buona spiegazione delle irregolarità plane-

---

(1) ....φησὶν Ἡρακλείδης ὁ Ποντικός, ὅτι καὶ κινουμένης πως τῆς γῆς, τοῦ δὲ ἡλίου μένοντός πως, δύναται ἡ περὶ τὸν ἥλιον φαινομένη ἀνωμαλία σώζεσθαι. Così scriveva Gemino, matematico contemporaneo di Cicerone, in un suo compendio della *Meteorologia* di Posidonio; e forse la citazione appartiene già a Posidonio medesimo. Da Gemino l'ebbe Alessandro Afrodisiense, che la riportò in un suo commentario (perduto) ad Aristotele *in Physica*; dal quale poi la riprodusse Simplicio (in *Ar. Phys.*, pag. 292, 21 sqq. Diels). Ciò che qui si chiama ἡ περὶ τὸν ἥλιον ἀνωμαλία, da Ipparco e da Tolomeo nell'Almagesto è designato talvolta col nome di παρὰ τὸν ἥλιον ἀνωμαλία, tal'altra con quello di πρὸς τὸν ἥλιον ἀνωμαλία; è un termine tecnico dell'antica astronomia, con cui si soleva indicare quella massima irregolarità dei movimenti planetari, da cui dipendono le stazioni e le retrogradazioni; irregolarità che sola era conosciuta al tempo di Eraclide Pontico. Questa anomalia è regolata dalla configurazione dell'astro rispetto al Sole e si manifesta in modo simmetrico a destra e a sinistra del medesimo; indi le sue varie designazioni.

tarie. Non è detto se tale scoperta fosse fatta veramente da Eraclide o da altri. Ma se fu Eraclide il primo a concepirne l'idea, bisogna dire che non seppe apprezzarla in tutto il suo valore. Abbiamo infatti da notizie precise che egli manteneva fissa la Terra nel centro del mondo, pur ammettendone la rotazione diurna (1).

Eraclide Pontico sembra finisse la sua carriera presso a poco nel tempo medesimo che Aristotele, ad ogni modo intorno al 320 o pochi anni prima. L'indipendenza e l'originalità delle sue opinioni, che gli avevano procurato l'appellativo di *παραδοξολόγος*, non erano proprie ad assicurargli molto credito presso le due scuole dominanti in quel tempo, degli Accademici e dei Peripatetici; il Pitagorismo, come scuola filosofica, era ormai ridotto al nulla. Eraclide medesimo non potè, o non volle, essere caposcuola; di lui non si sa che lasciasse alcun discepolo; nè alcun rappresentante delle sue dottrine, altro che i suoi libri. Questi sono oggi tutti perduti. Non è certo neppure, che egli facesse una esposizione accurata, e confortata da prove geometriche, delle ipotesi cosmiche da lui approvate od almeno considerate come possibili teoreticamente. L'idea copernicana, da lui conosciuta, ma non coltivata, sarebbe probabilmente ritornata nell'oscurità da cui egli l'aveva tratta per un momento, se intorno a mezzo secolo dopo non avesse cominciato ad occuparsene il gran matematico ed astronomo Aristarco di Samo, la cui vita possiamo collocare approssimativamente fra il 310 e il 240 avanti Cristo.

---

(1) Su ciò non rimane possibile dubbio; secondo Eraclide la Terra si muoveva non di moto traslatorio, ma di moto rotatorio, *οὐ μὴν γε μεταβατικῶς, ἀλλὰ τρεπτικῶς*. (*Doxogr.*, pag. 378, 10 sqq.).

VI.

Secondo che Archimede attesta nel suo *Arenario*, Aristarco pubblicò la descrizione di certe ipotesi, nelle quali è impossibile non ravvisare il sistema di Copernico. I pochi cenni di Archimede e di alcuni altri scrittori sono sufficienti a produrre in noi la convinzione che egli si rendeva conto esatto delle conseguenze di questo sistema, e delle obbiezioni che ad esso si potevano fare. Il Sole era collocato da Aristarco nel centro del mondo; intorno ad esso si aggiravano con moto circolare ed uniforme sei pianeti, fra i quali un solo, cioè la Terra, era provveduto di satellite. Tutti questi movimenti avevano luogo nel piano obliquo dello zodiaco. La Terra poi aveva, oltre al moto di rivoluzione nel piano dello zodiaco, anche un moto rotatorio intorno ad un asse proprio, il quale conservava una direzione costante verso i poli della sfera celeste. Lo spostamento apparente, che dal moto della Terra doveva derivare per le stelle fisse, era da lui evitato, od almeno ridotto a misura insensibile, col supporre che queste si trovassero ad una distanza dal Sole molte e molte volte più grande che il raggio dell'orbe terrestre: ciò che, come ognun sa, è pienamente conforme al vero.

Opportuno sarà di notare qui, che Aristarco e prima di lui Eraclide poterono arrivare al concetto eliocentrico senza mai dipartirsi dai principi fisici fin allora ritenuti come plausibili in questa materia, e sopratutto senza introdurre nel cielo alcuna circolazione intorno a punti ideali e privi d'ogni fisica entità. Questo si fece più tardi dai matematici, i quali delle ragioni fisiche non solevano tenere gran conto. Ma Aristarco non era matematico soltanto; egli

aveva atteso altresì alla parte fisica di tali questioni, ed era stato discepolo di Stratone Lampsaceno, cui fu dato il nome speciale di *Fisico*, perchè nella Fisica poneva la base principale del suo insegnamento.

Tale ripugnanza ad ammettere circolazioni dei corpi celesti intorno a punti ideali fu la principale causa che accelerò l'avvento dell'idea copernicana. Infatti posta una volta la condizione impreteribile, che un astro non potesse circolare che intorno alla Terra od intorno ad un altro astro, due ipotesi soltanto rimanevano capaci di soddisfare all'anomalia dei pianeti con moti circolari ed uniformi; e sono l'ipotesi di Eraclide Pontico (e di Ticone), per chi voleva fissa la Terra al centro del mondo; e l'ipotesi di Aristarco (e di Copernico), per chi consentiva alla Terra di muoversi come un astro qualsiasi. Perciò arriviamo a questa conseguenza singolare, ma pur vera; che se motivi d'altro ordine non fossero intervenuti a turbare l'andamento naturale dei ragionamenti, ed a consigliare l'adozione di ipotesi più consentanee a certi pregiudizi delle scuole, i Greci non avrebbero avuto da scegliere che fra le due ipotesi sopradette, e quindi forse più presto sarebbero giunti alla verità. Invece avvenne che le idee di Eraclide Pontico rimanessero quasi intieramente ignorate; quelle di Aristarco poi vissero ancora per qualche tempo presso discepoli di oscura fama, fra i quali non si cita che un nome, quello di Seleuco Babilonico. E quantunque il nome di Aristarco fosse in tutta l'antichità celebratissimo, le sue dottrine sul sistema del mondo furono ricordate soltanto come opinioni bizzarre e singolari, facili ad essere confutate con argomenti allora in apparenza invincibili, e di cui soltanto diciannove secoli dopo si cominciò ad apprezzare giustamente la totale insufficienza.

VII.

La difficoltà di far prevalere nell'opinione universale il concetto della mobilità della Terra, contro i dogmi considerati come indiscutibili dai Platonici, dai Peripatetici, e poco dopo anche dagli Stoici, non permise che le idee di Eraclide e di Aristarco portassero i loro frutti. Quando i matematici finirono per convincersi che le ipotesi omocentriche di Eudosso e di Calippo erano insufficienti a salvare i fenomeni, si diedero ad escogitarne altre, che non fossero in così flagrante contraddizione coi placiti delle scuole dominanti. A tal fine essi abbandonarono il principio fino allora tenuto fermo, che ogni circolazione di un astro dovesse farsi intorno al centro del mondo, od almeno intorno ad un altro astro. Profittando del concetto Eraclideo di una circolazione secondaria, essi soppressero l'astro che di tali circolazioni fino allora avevano formato il centro, e così arrivarono al concetto dell'*epiciclo:* cioè di una circolazione secondaria, al centro della quale nulla esiste che abbia una fisica entità o sia contrassegnato in qualsiasi modo.

Di questo nuovo meccanismo la più antica menzione si trova presso Apollonio di Perga (270-200) che fu di circa mezzo secolo più giovane d'Aristarco, e anche un poco più giovane di Archimede. Esso aveva il vantaggio di prestarsi in modo facile a rappresentare la principale anomalia dei pianeti, senza che per ciò fosse necessario abbandonare il concetto dell'immobilità della Terra; inoltre, convenientemente applicato, dava il mezzo di conservare una certa uniformità nelle ipotesi di tutti e sette gli astri erranti per lo zodiaco, non esclusa la Luna ed il Sole. Il metterli tutti e sette nella medesima categoria importava

moltissimo in un tempo, in cui cominciava a farsi sentire nell'astronomia l'influsso dell'astrologia matematica, portata in occidente da Beroso Caldeo intorno al 260, e coltivata più tardi con zelo dagli Stoici e dai Neopitagorici. È facile comprendere infatti, come le ipotesi di Eraclide Pontico, e ancora più quelle d'Aristarco, dovessero riuscire incomode ad una dottrina fondata essenzialmente sull'immobilità della Terra al centro del mondo, e sull'ordine regolare dei sette pianeti destinati ad esercitare i loro influssi sugli umani eventi per mezzo delle reciproche loro configurazioni. Caratteristiche a questo riguardo sono le espressioni di Dercillida, filosofo Platonico, il quale, secondo che narra Teone Smirneo (1), dichiarava degni di maledizione tutti quelli che mettono in quiete il cielo, ed in moto la Terra, *sconvolgendo così i principi dell'astrologia.*

Ma un altro fatto ancora cospirava a render poco accettabile agli astronomi di quel tempo le ipotesi di Eraclide e di Aristarco. Infatti la loro simmetria e semplicità era dovuta principalmente a ciò, che in esse tutti i movimenti si supponevano esattamente circolari, concentrici ed uniformi. Ma, come ognun sa, le vere orbite dei pianeti intorno al Sole, e della Luna intorno alla Terra, non sono circolari, ma leggermente ellittiche; non sono riferite al centro delle ellissi, ma al foco; in queste orbite i movimenti non possono essere considerati come uniformi se non in modo grossolano ed approssimativo. Diventava per tal modo impossibile ottenere l'esatta rappresentazione dei fenomeni con quelle supposizioni troppo semplici; e sotto un'altra forma s'imponevano anche qui gli eccentrici e gli epicicli, dai quali neppur lo stesso Copernico potè liberarsi, neppur Ticone, ma soltanto Keplero, introducendo le sue ellissi invece dei circoli. Adunque il principio mantenuto da Era-

(1) *De astronomia*, p. 328, Martin (p. 200, 11 Hiller).

clide e da Aristarco, *di non ammettere circolazioni intorno a punti ideali*, andava perduto; con esso andavan pure perdute la simmetria e la semplicità che distinguevano quelle costruzioni. Poichè dunque da un lato gli eccentrici e gli epicicli s'imponevano in qualunque modo, ed era forza ammettere nel cielo circolazioni intorno a punti ideali privi di fisica entità; e poichè d'altra parte i geometri avevan trovato il mezzo di rappresentar con sufficiente esattezza, per mezzo di questi nuovi ordigni, l'andamento dei fenomeni celesti senza muover la Terra e senza toglierle la posizione assegnata dai dogmi dell'astrologia: qual ragione rimaneva ancora di attenersi alle speculazioni, soltanto a mezzo elaborate, di Eraclide e d'Aristarco?

Adunque il regresso che avvenne, quando s'introdussero nell'astronomia gli eccentrici e gli epicicli, fu conforme all'ordine naturale delle cose. Rimaneva però da parte dei fisici un'obbiezione gravissima. Come ammettere che un corpo libero ed isolato, qual'è un astro, sia regolato e frenato nei suoi movimenti da un centro ideale e privo d'ogni fisico influsso, in modo da essere costretto ad aggirarsi intorno a quello con moto regolare e uniforme? A questa difficoltà provvide col tempo la sagacia dei Peripatetici, presentando la teoria del moto epiciclico sotto una forma assai diversa dall'originaria, e facendone quasi una modificazione delle sfere d'Eudosso. Essi supposero per ciascun pianeta una sfera cava trasparente, concentrica alla Terra, di cui facevano il raggio esteriore uguale alla massima distanza del pianeta, e uguale alla minima distanza il raggio della cavità interiore. Rivolgendosi questa sfera intorno ad un asse perpendicolare allo zodiaco o quasi, conduceva lungo lo zodiaco in giro, incastrato nella sua grossezza, un globo pur trasparente, il cui diametro era uguale a quello dell'antico epiciclo. Il globo poi, ruotando anch'esso sui propri poli con proprio periodo, portava, inca-

stonato solidamente in un punto del suo equatore, il pianeta, sola parte visibile di sì enorme compagine. Questo globo rappresentava l'epiciclo, del quale così il centro era centro del globo, ed otteneva in questo modo un significato meccanico molto evidente. Pertanto il globo colla sua rotazione provvedeva a ciò che prima si rappresentava col moto dell'epiciclo; col suo moto periodico, che portato dalla sfera cava faceva intorno alla Terra, dava luogo alla rivoluzione siderale. Così tutto era accomodato ai dettati della fisica Aristotelica, non meno bene che prima fossero le sfere omocentriche d'Eudosso. Ai Platonici poi non ripugnava un meccanismo, che non troppo differiva da quello spiegato da Platone nel X della *Repubblica;* anzi alcuni di essi andavano ripetendo, che gli epicicli ed i globi loro equivalenti erano invenzione di Platone, e che queste appunto fossero le *Sirene* da lui poste a produrre il concento armonico dell'universo.

Così incontrò molto favore la teoria delle sfere solide, la quale offriva una certa base fisica all'ipotesi degli epicicli. Essa apparve col rifiorire delle scuole Aristoteliche nel secolo che precedette l'èra volgare, e continuò ad essere insegnata nei secoli seguenti e per tutto il medioevo fino quasi alla fine del secolo XVII, quando Newton aveva già proclamato il vero principio fisico dei movimenti planetari, quello dell'attrazione universale fra tutte le parti della materia.